

MESG
MESTRADO EM ENGENHARIA
DE SERVIÇOS E GESTÃO

**Ferramenta de apoio à decisão para a otimização e sequenciação
de horários por turnos**

Caso de Estudo

Alice Maria de Pinho Moreira

Dissertação de Mestrado

Orientadora na FEUP: Prof. Doutor Jorge Freire de Sousa



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

2015-06-30

À minha família

Resumo

O recurso por parte das empresas ao alargamento de laboração ou à laboração contínua obriga à criação de horários por turnos. É obviamente importante fazer uma boa gestão desses horários por turnos que constituem um dos fatores mais importante para que as empresas consigam manter a sua competitividade, dado o seu peso relevante nas estruturas de custos das mesmas. Os procedimentos de otimização na sua construção ajudam a cumprir esse objetivo, nomeadamente através de uma melhor afetação dos recursos humanos aos horários.

A otimização de horários envolve muitas restrições e é considerada um problema do tipo NP-difícil porque o tempo computacional de resolução é não polinomial.

No presente trabalho fez-se o estudo de métodos e algoritmos para a geração, otimização e sequenciação de horários por turnos, que fossem possíveis de implementar em Microsoft Excel, de acordo com a vontade manifestada pela empresa em causa.

O Planeamento das Escalas de Serviço da equipa em análise é realizado com vários meses de antecedência, tendo-se optado pelo recurso a métodos de programação linear inteira.

A ferramenta de apoio à decisão, que se desenvolveu em Microsoft Excel com recurso ao VBA – *Visual Basic for Applications* e ao suplemento gratuito *OpenSolver*, permite efetuar a otimização de Escalas de Serviço e a sua sequenciação para os 365 dias do ano, tendo em conta todas as restrições rígidas, a maior parte das restrições flexíveis e os dias programados para férias, formação e outras ausências dos trabalhadores.

Palavras-chave: Horários de trabalho por turnos, Escalas de serviço, Turnos, Escalamento, Escalonamento, Otimização, Programação de Turnos.

Decision support tool for the optimization and sequencing of shifts

Case Study

Abstract

The appeal by the companies to the enlargement of working schedule or continuous working days requires the creation of shift schedules to remain competitive. The optimization of these schedules can help to meet this goal, through better allocation of human resources to the shifts.

Working schedule's optimization, which involves many constraints, is considered a NP-hard problem, because the computational time resolution is not polynomial.

This thesis is the result of the study of some methods and algorithms for generating, optimizing and sequencing schedules, which are possible to implement in Microsoft Excel.

Once the planning of rosters under consideration is carried out several months in advance, it was decided to use methods based on integer linear programming (ILP).

The decision support tool, developed in Microsoft Excel with VBA - *Visual Basic for Applications* and the free add-in *OpenSolver*, allows to perform optimization of rosters and the sequencing for the 365 days of a year, taking into account all hard constraints and most of the soft constraints and also the days scheduled for vacation, training or other types of absences of the workers.

Keywords: Shift work schedules, Roster, Employee timetabling, rostering, personnel scheduling, workforce scheduling, staff scheduling, labor scheduling and staffing, Shift Scheduling Problem

Agradecimentos

Este espaço destina-se às pessoas que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento desta dissertação.

Assim, quero em primeiro lugar agradecer ao meu orientador científico, Professor Doutor Jorge Freire de Sousa, pelo apoio, simpatia, disponibilidade e pelas várias sugestões que me deu ao longo desta dissertação.

De seguida quero agradecer à gerente Filipa Galiza do AMT Labs, por se ter mostrado sempre disponível para ajudar e esclarecer quaisquer dúvidas relativamente ao cliente para o qual foi realizado este estudo.

E finalmente, quero agradecer as todas as pessoas, amigos e família, que me ajudaram a concluir esta dissertação, pela paciência e compreensão, pelo apoio e sugestões e pela disponibilização de alguma informação útil para o desenvolvimento desta dissertação.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Motivação	2
1.2	Apresentação da AMT e breve introdução à equipa em análise.....	2
1.3	Descrição do problema proposto	3
1.4	Metodologias aplicadas	3
1.5	Objetivos principais.....	4
1.6	Análise comparativa de abordagens existentes e das suas vantagens e inconvenientes	4
1.7	Estudo e Desenvolvimento do Gerador de Horários por Turnos	5
1.8	Estrutura do Relatório	5
2	O Estado da Arte	7
2.1	Introdução.....	7
2.2	Definições	8
2.3	O problema da otimização de horários por turnos, nalguns setores de atividade.....	9
2.3.1	Transportes terrestres, aéreos e marítimos/fluviais.....	9
2.3.2	Service Desk (Call Centre, Contact Centre e Help Desk).....	10
2.3.3	Atividades de Saúde Humana	11
2.4	Exemplos de metodologias para a otimização de horários por turnos.....	12
2.4.1	Algoritmos clássicos – métodos exatos e aproximados	12
2.4.1.1	<i>Branch & Bound</i>	12
2.4.1.2	<i>Dynamic Programming</i>	12
2.4.1.3	<i>Network Flow Programming</i>	13
2.4.1.4	<i>Integer Programming</i>	13
2.4.2	Exemplos de Algoritmos inteligentes – métodos aproximados.....	14
2.4.2.1	<i>Stochastics Algorithms</i>	14
2.4.2.2	<i>Evolutionary Algorithms</i>	15
2.4.2.3	<i>Physical Algorithms</i>	15
2.4.2.4	<i>Swarm Algorithms</i>	16
2.4.2.5	<i>Immune Algorithms</i>	16
2.5	Considerações finais.....	16
3	O problema da otimização de horários por turnos	17
3.1	Breve apresentação da empresa e da equipa em análise	17
3.2	Situação atual dos horários por turnos da equipa.....	17
3.3	Dificuldades e expetativas na elaboração dos horários, na perspetiva da responsável pela equipa em análise	19
3.4	Classificação e descrição do problema.....	19
3.5	Considerações finais.....	23
4	Proposta de Resolução.....	25
4.1	Gráfico das necessidades mínimas de trabalhadores e da distribuição dos turnos, ao longo das 24h. ...	27
4.2	Modelo matemático para afetação de um número mínimo de trabalhadores aos turnos.....	28
4.3	Modelo matemático para a afetação dos trabalhadores aos turnos e metodologia para a respetiva sequenciação.....	29
4.4	Considerações finais.....	33

5	Apresentação do Gerador de Horários.....	35
5.1	Módulo 1: Estimativa das necessidades mínimas.....	35
5.2	Módulo 2: Gestão dos Turnos.....	35
5.3	Módulo 3: Otimização de Turnos	36
5.4	Módulo 4: Ciclos de rotação de referência.....	37
5.5	Módulo 5: Calendário dos dias programados de férias/formação/ausências.....	38
5.6	Módulo 6: Preferências de ciclos de rotação	38
5.7	Módulo 7: Geração de Horários.....	39
5.8	Módulo 8: Plano Anual de Escalas de Serviço	40
5.9	Simulações	41
5.9.1	Otimização das Escalas de Serviço para 52 dias.....	41
5.9.2	Sequenciação das Escalas de Serviço para o Plano Anual das Escalas.....	46
5.10	Considerações finais.....	47
6	Conclusões e perspectivas de trabalhos futuros	49
6.1	Conclusões	49
6.2	Perspetivas de trabalhos futuros.....	50
	Referências	51
	ANEXO A: Inquéritos	55
	ANEXO B: Imagens do Gerador de Horários.....	59

Índice das ilustrações

Ilustração 2-1: O processo de planeamento das escalas de serviço no mundo real. (adaptado de Kyngäs, Kyngäs e Nurmi. 2012. " <i>Optimizing Large-Scale Staff Rostering Instances</i> .").....	8
Ilustração 4-1: Fases de planeamento dos horários do pessoal de terra dos aeroportos. (Adaptado de Herbers, Jörg. 2005. " <i>Models and Algorithms for Ground Staff Scheduling on Airports</i> .").....	25
Ilustração 4-2: Gráfico das necessidades mínimas de trabalhadores ao longo das 24 horas	27
Ilustração 4-3: Distribuição dos turnos ao longo das 24 horas	27
Ilustração 5-1: Módulo para a inserção/modificação das necessidades de pessoal ao longo das 24 horas.....	35
Ilustração 5-2: Módulo para modificação/consulta de turnos	36
Ilustração 5-3: Módulo para otimização do pessoal mínimo a afetar por turnos	36
Ilustração 5-4: Módulo para consulta/alteração dos ciclos de referência.....	37
Ilustração 5-5: Módulo Calendário das Férias/Formação/Ausências	38
Ilustração 5-6: Módulo das preferências de ciclos	39
Ilustração 5-7: Módulo para a geração de Escalas de Serviço	39
Ilustração 5-8: Módulo: Plano Anual das Escalas de Serviço	40
Ilustração 5-9: Escalas de Serviço para o Caso 1 (sem faltas, sem preferências e sem H.S.).....	42
Ilustração 5-10: Calendário para marcação dos dias de férias/formação/ausências	43
Ilustração 5-11: Tabela das Preferências de Ciclos.....	44
Ilustração 5-12: Gerador de Escalas de Serviço com os ciclos preferenciais do caso 2	44
Ilustração 5-13: Escala de Serviço para 52 dias, para o caso 2	45
Ilustração 5-14: Análise dos ciclos especiais para a sequenciação do caso 1	46
Ilustração 5-15: Análise dos períodos com défice de trabalhadores após sequenciação	47

Índice das ilustrações nos Anexos

Ilustração B- 1: Página inicial do Gerador de Horários	59
Ilustração B- 2: Guia para utilização dos módulos de otimização	59
Ilustração B- 3: Breve explicação para instalação do OpenSolver.....	60

Índice das tabelas

Tabela 3-1: Classificação dos horários por turno.....	18
Tabela 5-1: Resultado Simulação de Otimização de Turnos	37
Tabela 5-2: Resultado da LR para o caso 1	41
Tabela 5-3: Resultado da simulação do Caso 1	42
Tabela 5-4: Resultados da simulação do caso 2	45

1 Introdução

Neste mundo cada vez mais globalizado e centrado no cliente, é imperativo as empresas gerirem os seus recursos da melhor forma possível, nomeadamente o capital humano, para fazerem face às flutuações do volume de trabalho, muitas vezes imprevisíveis, provocadas pelas pressões do mercado, e aos pedidos cada vez mais exigentes dos clientes. Assim, para manter a competitividade, algumas empresas vêm-se forçadas a recorrer à laboração contínua.

De acordo com [Thompson \(2003\)](#), o escalamento de pessoal envolve colocar as pessoas certas, nos lugares certos, nos momentos certos. Assim, para estas empresas que recorrem à laboração alargada ou contínua, é fundamental que haja um bom planeamento e uma boa gestão do pessoal afeto aos turnos, para satisfazer com qualidade a procura. A otimização dos horários por turnos é essencial para ajudar a cumprir com esse objetivo. A otimização deve ter em atenção várias restrições, nomeadamente as ligadas à legislação em vigor, à organização interna da empresa e deverá satisfazer da melhor forma possível as preferências dos trabalhadores, pois como é referido em ([Totterdell 2005, 36](#)), qualquer rotação no horário de trabalho (*roster*) mesmo que se refira apenas a uma semana, pode atuar como um fator de *stress*, se as preferências e as necessidades dos trabalhadores não forem atendidas.

Muitas empresas ainda elaboram manualmente os horários por turnos, designados por Planos de Escalas de Serviço, e isso pode demorar bastante tempo se as restrições e o número de trabalhadores forem elevados. No caso da equipa em análise, a responsável faz os Planos de Escalas de Serviço na aplicação Microsoft Excel e não recorre a quaisquer técnicas de otimização.

A formulação mais simples para o problema da otimização de horários foi inicialmente elaborada por [Dantzig \(1954\)](#), recorrendo à programação linear inteira a partir de um problema de afetação de trabalhadores às cabines de portagens, isto é um problema de cobertura de conjuntos, proposto por [Edie \(1954\)](#). A formulação pode ser representada da seguinte maneira:

Variáveis de decisão:

$i = 1, 2, \dots, I$, corresponde aos índices dos intervalos de tempo

$t = 1, 2, \dots, T$, corresponde ao índice dos turnos

x_i é o número de trabalhadores que inicia o trabalho no intervalo i

d_i é o número de tarefas/deveres que deve ser executado para o intervalo i

c_i é o custo do trabalho a ser executado no período i

$a_{it} = \begin{cases} 1, & \text{se } i \text{ corresponde a um intervalo de trabalho para o turno } t \\ 0, & \text{para os restantes casos} \end{cases}$

Sujeito às restrições:

$$\sum_{i=1}^I a_{it} x_i \geq d_i, \quad \text{para } t = 1, 2, \dots, T \quad (1.1)$$

$$x_i \in \mathbb{N}_0, \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, I \quad (1.2)$$

Função objetivo:

$$\min (\sum_{i=1}^I c_i x_i) \quad (1.3)$$

O objetivo da otimização pode ser múltiplo, desde a minimização dos custos até à maximização das preferências dos trabalhadores, entre outros.

As restrições variam de empresa para empresa, mas todas estão divididas em dois grupos distintos:

- I. Restrições rígidas, isto é, são restrições que não podem ser ignoradas, porque estão ligadas à legislação entre outros;
- II. Restrições flexíveis, isto é são restrições que preferencialmente não devem ser ignoradas, porque estão ligadas por exemplo às preferências dos trabalhadores.

O problema de otimização dos horários por turnos é complexo e a dificuldade aumenta à medida que aumentam o número de variáveis, tais como os trabalhadores, as restrições, etc.

Existem várias propostas no mercado para diversos setores, mas somente as soluções personalizáveis conseguem satisfazer plenamente as necessidades das empresas, sendo normalmente de elevado custo.

A literatura também é abundante em soluções que procuram satisfazer as necessidades de qualquer empresa seja ela de que tamanho for e de que setor for, contudo as mesmas não satisfazem por completo as necessidades da equipa em análise, cliente da AMT Consulting, Lda tendo sido necessário fazer o estudo de várias propostas que constam da literatura mencionada no Capítulo 2- Estado da arte, para desenhar uma solução adequada para este caso de estudo.

1.1 Motivação

O AMT Labs propôs o desenvolvimento desta dissertação junto da FEUP, para a realização de um estudo de otimização de horários por turnos e se possível que se desenvolvesse uma aplicação em Microsoft Excel para a otimização desses horários, de fácil utilização e que permitisse a sequenciação de horários para 365 dias.

Esta proposta foi decisiva para motivar o desenvolvimento desta dissertação, porque a otimização quando lida com muitas variáveis e restrições é uma tarefa geralmente árdua de realizar. Além disso, a implementação de um sistema de apoio à decisão (SAD) para o escalamento de pessoal e otimização dos horários por turnos pode ajudar as empresas a gerir melhor os seus recursos humanos e a diminuir os custos, pois há uma melhor afetação do pessoal aos horários por turnos e uma melhor gestão do tempo despendido na elaboração desses mesmos horários.

1.2 Apresentação da AMT e breve introdução à equipa em análise

A AMT, *A Matter of Trust*, com a denominação AMT Consulting, Lda nasceu em 2006 no distrito de Lisboa, com o objeto social de prestação de serviços e consultadoria na área de informática; prestação de serviços de contabilidade e assessoria fiscal e consultadoria na área de gestão. Em 2012, a AMT Consulting, Lda ficou em 6º lugar no ranking de pequenas empresas no estudo Prémio Excelência no Trabalho¹.

¹Fonte: <http://www.premioexcelencianotrabalho.com/>. Acedido em 25/02/2015. “O Prémio Excelência no Trabalho refere-se a um estudo de clima organizacional e desenvolvimento do capital humano realizado pela Heidrick & Struggles em parceria com o Económico e o INDEG - IUL, através do qual se analisa o estado de arte das práticas de recursos humanos em Portugal e se premeiam as entidades que mais investem e apostam nesta área.”

Nesse mesmo ano a AMT passou a difundir uma cultura de inovação e encontrar novos produtos para comercialização dentro e fora do País, criando um Pólo de inovação no Porto, o AMT Labs, o qual aposta na criação de soluções e produtos inovadores principalmente nas áreas de Mobile, SAP R3, Big Data e User Experience em colaboração com os clientes e a Universidade do Porto (UP).

A AMT tem por valores: a Confiança, a Responsabilidade, a Dedicação, a Inovação e a Excelência. ([Heidrick&Struggles 2013, 64](#), [AMT 2015](#))

A equipa em análise está integrada numa empresa, cliente da AMT, que exerce a sua atividade principal na área dos transportes aéreos de passageiros e exerce, complementarmente, atividades auxiliares dos transportes aéreos, nomeadamente na gestão e apoio dos passageiros e das suas bagagens. O estudo do gerador de horários foi pedido para a otimização dos horários da equipa responsável por esta atividade na empresa.

1.3 Descrição do problema proposto

A equipa em análise conta com 29 trabalhadores a trabalharem em regime permanente, isto é, 24/7, repartidos por 11 turnos. Os turnos têm durações, hora início e hora fim diferentes e apresentam-se ligeiramente sobrepostos, para garantir uma cobertura mínima dos períodos em que o volume de trabalho atinge picos.

É realizada pontualmente uma previsão das necessidades diárias de pessoal para cobrir o volume de trabalho resultante da procura. Geralmente essa previsão mantém-se constante durante a maior parte dos meses do ano.

As tarefas a serem executadas pelos trabalhadores são diferentes consoante sejam turnos da noite (3 trabalhadores no mínimo para tratar de Preparação / Transferências / Rede) ou turnos da manhã ou da tarde (5 trabalhadores no mínimo para tratar de Preparação / Partidas / Chegadas / Rede / Transferências), No entanto, as tarefas podem ser executadas por qualquer um dos trabalhadores.

A criação e gestão das Escalas de Serviço é realizada em Microsoft Excel, não sendo atualmente aplicadas quaisquer técnicas de otimização. Por causa disso, a responsável da equipa em análise depara-se muitas vezes com períodos em que tem excesso ou défice de trabalhadores.

1.4 Metodologias aplicadas

Esta dissertação focou-se no estudo de um caso com o intuito de saber o “como?” e o “porquê?” em relação à elaboração de horários por turnos, para assim poder aplicar técnicas de otimização.

De acordo com ([Ponte 2006, 2](#)) um caso de estudo “é uma investigação que se assume como particularística, isto é, que se debruça deliberadamente sobre uma situação específica que se supõe ser única ou especial, pelo menos em certos aspetos, procurando descobrir o que há nela de mais essencial e característico e, desse modo, contribuir para a compreensão global de um certo fenómeno de interesse.”

Assim, começou-se por fazer uma análise de conteúdos consultando a literatura apresentada no capítulo 2, para se determinar qual seria a melhor abordagem para a criação e otimização das Escalas de Serviço, para a equipa em análise.

De seguida foram fornecidos pelo AMT Labs alguns dados do cliente, nomeadamente o Acordo de Empresa (A.E.) do ano de 2007, ainda em vigor, e uma amostra dos horários aplicados, de

forma a permitir a elaboração de um conjunto de restrições que influenciam a criação das sequências de turnos e a afetação dos trabalhadores aos turnos.

Finalmente foram recolhidos dados junto da responsável da equipa em análise, através do preenchimento de questionários, cujas cópias integrais constam do ANEXO A, partindo da convicção do seu conhecimento e experiência, essenciais para o bom desenvolvimento do gerador de horários em Microsoft Excel.

1.5 Objetivos principais

- 1 Estudar métodos e algoritmos para otimização de horários por turnos e para a respetiva sequenciação para os 365 dias do ano.
- 2 Implementar uma solução, preferencialmente em Microsoft Excel, com recurso a um solucionador e ao VBA (*Visual Basic for Applications*). Permitir também que seja efetuado o planeamento do volume de trabalho, alertando assim a responsável para a necessidade de aumento ou redução de pessoal para determinados períodos do ano.
- 3 Tornar a solução flexível e intuitiva para que o utilizador final possa gerar automaticamente horários por turnos para o ano completo ou somente para alguns meses, satisfazendo o máximo possível todas as restrições impostas e minimizando os custos.

1.6 Análise comparativa de abordagens existentes e das suas vantagens e inconvenientes

Existem propostas comerciais mais ou menos personalizáveis de custo variável e também existem na literatura várias abordagens que podem ser aplicadas a este setor, recorrendo à programação em C++ ou a solucionadores tais como o LINGO², CPLEX³, GUROBI⁴, entre outros.

Contudo, uma vez que o AMT Labs pediu uma solução em Microsoft Excel com recurso ao suplemento Solver ou outro solucionador gratuito e ao VBA – *Visual Basic for Applications*, analisou-se somente propostas em que fosse possível implementá-las com aquelas condições.

O Solver integrado no Excel não tem capacidade para resolver problemas com mais de 200 variáveis e o problema em estudo, descrito na secção 3.4, tem 7598 variáveis de decisão.

Foi, por isso, necessário fazer uma análise comparativa a suplementos gratuitos para Excel, tais como o *OpenSolver* e o *StudioSolver*. Esses solucionadores não têm limite em relação às variáveis e são de fácil instalação como suplementos.

A principal diferença entre os dois suplementos é que, ao contrário do *StudioSolver*, o *OpenSolver* permite que se criem os modelos da mesma forma que no Solver, não necessitando assim de treino para saber escrever os modelos nas diversas linguagens de modelação matemática incluídas no *StudioSolver*, tais como AMPL, GAMS, PuLP, GMPL, e o ambiente Python em GUROBI.

² Fonte: <http://www.lindo.com/store/wb.html>. Acedido a 12/06/2015.

³ Fonte: <http://www-03.ibm.com/software/products/pt/ibmilogcpleoptistud>. Acedido a 12/06/2015.

⁴ Fonte: <http://www.gurobi.com/products/licensing-pricing/commercial-pricing>. Acedido a 12/06/2015.

1.7 Estudo e Desenvolvimento do Gerador de Horários por Turnos

Primeiramente, foi elaborado o modelo matemático para minimizar o número de trabalhadores por turnos e por dia, atendendo às preferências da empresa.

Seguidamente foi elaborado o modelo matemático para a otimização e afetação dos trabalhadores aos turnos, para assim criar as Escalas de Serviço, considerando os dias programados de férias, de formação ou de ausências, considerando a maior parte das preferências dos trabalhadores e todas as restrições rígidas, para um horizonte de planeamento de 52 dias.

Finalmente foi apresentada a metodologia para a sequenciação dos turnos, de forma a cobrir todo o ano civil. Em paralelo com o estudo teórico, foi desenvolvida uma ferramenta de apoio à decisão para a otimização e sequenciação de horários por turnos, designada por Gerador de Horários, realizado na aplicação Microsoft Excel com o recurso a solucionadores gratuitos e ao VBA - *Visual Basic for Applications*, de modo a obter uma solução final satisfatória.

A criação do Gerador de Horários envolveu os seguintes passos, em folhas de cálculo:

- 1 Inserção do número mínimo de trabalhadores por cada intervalo de 30 minutos.
- 2 Otimização do pessoal necessário para satisfazer o volume de trabalho diário e repartidos por turnos, os quais podem ser alterados, em relação à duração, hora de início e fim;
- 3 Inserção dos dias programados de férias/formação/ausências no calendário de pessoal;
- 4 Consulta ou alteração dos ciclos de rotação de referência;
- 5 Escolha de ciclos de rotação preferidos ou mais convenientes;
- 6 Apresentação das Escalas de Serviço para 52 dias, otimizadas, tendo em consideração todas as restrições rígidas, os dias de férias/formação/ausências e a maioria das restrições flexíveis;
- 7 Apresentação do Plano Anual de Escalas de Serviço, após a aplicação de técnicas de sequenciação.

Foram realizados vários protótipos do Gerador de Horários por turnos até que se conseguisse chegar a uma solução satisfatória para os principais interessados na utilização deste gerador.

1.8 Estrutura do Relatório

O relatório divide-se em seis capítulos. O primeiro capítulo, de carácter introdutório, explica o que motivou o desenvolvimento desta dissertação, descreve resumidamente o problema que a responsável pela equipa em análise tem atualmente em relação aos horários, quais as metodologias que foram usadas para análise e resolução do problema e quais foram os principais desenvolvimentos da ferramenta de apoio à decisão para a otimização e sequenciação de turnos. O segundo capítulo apresenta o Estado da Arte em torno do tema “escalamento de pessoal”, para vários setores de atividades e vários tipos de otimização. O problema em estudo é apresentado no terceiro capítulo, onde é feita uma breve apresentação da empresa e da equipa para a qual foi realizado este estudo. Também são descritos os problemas com que a responsável pela equipa em análise se depara, relacionados com a geração dos horários por turnos. É depois apresentada a classificação e a descrição do problema. A proposta de solução é apresentada no capítulo quatro, sendo descritas as metodologias e modelos matemáticos para a resolução dos vários problemas ligados ao planeamento das Escalas de Serviço. O quinto capítulo apresenta o Gerador de Horários desenvolvido em Microsoft Excel com recurso a solucionadores gratuitos e ao VBA- *Visual Basic for Applications*. Finalmente o sexto e último capítulo apresenta as conclusões e propostas para trabalhos futuros.

2 O Estado da Arte

De forma a poder realizar o estudo da otimização de horários por turnos e da sua sequenciação, começou-se por consultar a obra de [Ferreira 2012](#)) muito completa acerca do escalamento de tripulantes, a obra de [Rocha \(2013\)](#) que aborda com detalhe a resolução do escalamento automático de pessoal para três setores diferentes, hotelaria, indústria e saúde, e por último a obra de [Herbers \(2005\)](#) que aborda modelos e algoritmos direcionados para o pessoal de terra dos aeroportos.

De seguida foi analisado o percurso do tema “escalamento de pessoal”, para diversos setores de atividade e nas suas várias formas de resolução, até à situação atual. Um total de 50 documentos, publicados entre os anos de 1954 e 2014, foram analisados. A maioria dos documentos estão indexados à base bibliográfica da Universidade do Porto (UP) e os restantes, apesar de não estarem indexados à mesma, estão indexados a revistas científicas.

Após uma leitura atenta de todos os documentos acima referidos, organizou-se este capítulo da seguinte forma: na seção 2.1 faz-se uma breve introdução ao tema “escalamento de pessoal”, referindo as principais revisões de literatura científica efetuadas nos últimos anos.

Na seção 2.2, explica-se o que se entende por turno, planeamento de escalas de serviço e problemas de otimização de horários.

Na seção 2.3 são apresentadas as principais dificuldades encontradas na otimização de horários em determinados setores de atividade.

Na seção 2.4, são brevemente descritas várias metodologias encontradas na literatura, organizadas por métodos clássicos e métodos ditos “inteligentes”.

Finalmente a secção 2.5. apresenta as conclusões do que foi abordado neste capítulo.

2.1 Introdução

A otimização de horários por turno é um tema que tem vindo a ser estudado desde o trabalho do autor [Edie \(1954\)](#). Nesse trabalho é apresentado um método para resolver o problema dos horários por turno nas portagens e que foi depois melhorado por [Dantzig \(1954\)](#), recorrendo à programação linear inteira.

As três revisões de literatura a seguir mencionadas estão ligadas ao escalamento de pessoal e são bastante completas porque abrangem vários setores de atividades, tipos de problemas, metodologias e formulações:

- A de [\(Ernst et al. 2004\)](#), muito completa, apresenta uma classificação, por tipo de problema, áreas de aplicação e métodos de resolução, referindo um total de 193 documentos publicados entre os anos de 1954 e 2003.
- A de [\(Brucker, Qu, and Burke 2011\)](#) apresenta um estudo muito detalhado de vários modelos e respetiva complexidade, referindo um total de 35 documentos que foram publicados entre os anos de 1954 e 2010.
- E finalmente, a de [\(Van den Bergh et al. 2013a\)](#), também bastante completa, apresenta o resultado da pesquisa organizada de acordo com diferentes perspetivas, nomeadamente por nível das competências dos trabalhadores, por métodos de resolução e por áreas de aplicação. Os autores mencionam que esse estudo foi baseado em 291 documentos técnicos publicados desde os anos de 2004 até 1 de julho de 2012.

2.2 Definições

- Turno (*shift*)

Dispõe o artigo 220º do Código de trabalho (CT)⁵ a noção de turno: “Considera-se trabalho por turnos qualquer organização do trabalho em equipa em que os trabalhadores ocupam sucessivamente os mesmos postos de trabalho, a um determinado ritmo, incluindo o rotativo, contínuo ou descontínuo, podendo executar o trabalho a horas diferentes num dado período de dias ou semanas.”

Os turnos diferenciam-se pela duração, pela hora de início, pelo número de intervalos e respetiva duração e pela hora de início desses intervalos.

- Planeamento das Escalas de Serviço (*workforce scheduling*)

Os autores [Kyngäs, Kyngäs, and Nurmi \(2012\)](#): descrevem que “o planeamento das escalas de serviço (*workforce scheduling*) consiste em atribuir aos trabalhadores tarefas e turnos, e a respetiva sequenciação ao longo de um período de tempo de acordo com um determinado prazo. O horizonte do planeamento dos horários (*scheduling horizon*) é o intervalo de tempo durante o qual os trabalhadores têm de ser escalados. Cada trabalhador tem um tempo total de trabalho que deverá executar durante o horizonte de planeamento. Além disso, cada trabalhador tem qualificações e competências que lhe permite a realização de determinadas tarefas. Os dias são divididos em dias úteis e dias de descanso. Cada dia é dividido por períodos ou intervalos de tempo. Um intervalo de tempo é a menor unidade de tempo e o comprimento de um intervalo de tempo determina a granularidade do horário. Um turno (*shift*) é um conjunto, geralmente contíguo, de horas de trabalho e é definido por um dia e um período que se inicia nesse dia, juntamente com o comprimento do turno (o número de intervalos de tempo ocupados). Os turnos são geralmente classificados por tipo, como turno da manhã, turno do dia e turno da noite. Cada turno é composto por uma série de tarefas. Um turno ou uma tarefa pode exigir que o trabalhador possua uma ou mais competências. Os horários de trabalho ao longo do horizonte de planeamento são chamados de escalas de serviço (*roster*). A escala é uma combinação de turnos e de dias de descanso, que abrange um período fixo do tempo.”

A **Ilustração 2.1** mostra um exemplo do processo de planeamento das escalas de serviço.

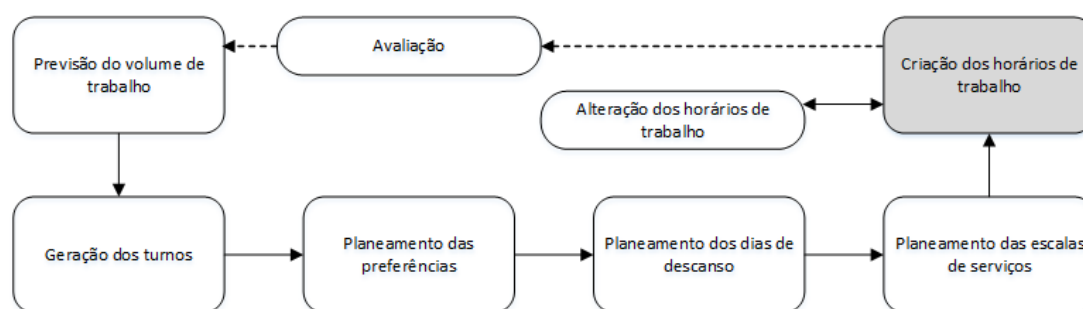


Ilustração 2-1: O processo de planeamento das escalas de serviço no mundo real. (adaptado de Kyngäs, Kyngäs e Nurmi. 2012. “*Optimizing Large-Scale Staff Rostering Instances*.”)

⁵ Fonte: http://www.pgdlisboa.pt/leis/lei_mostra_articulado.php?nid=1047&tabela=leis. Acedido a 11/03/2015. “Lei n.º 7/2009, de 12 de Fevereiro (versão atualizada) CÓDIGO DO TRABALHO. Contém as seguintes alterações:- Retif. n.º 21/2009, de 18 de Março;- Lei n.º 105/2009, de 14 de Setembro;- Lei n.º 53/2011, de 14 de Outubro;- Lei n.º 23/2012, de 25 de Junho;- Retificação n.º 38/2012, de 23 de Julho;- Lei n.º 47/2012, de 29 de Agosto;- Lei n.º 69/2013, de 30 de Agosto;- Lei n.º 27/2014, de 08 de Maio;- Lei n.º 55/2014, de 25 de Agosto.”

- Problemas de otimização (*optimization problems*)

Em ([Dréo et al. 2006, 1-2](#)) é explicado que “um problema de otimização é caracterizado por uma função objetivo (ou várias), ou uma função de custo, que deve ser minimizada ou maximizada em relação a vários parâmetros. A definição do problema de otimização é muitas vezes complementada pela informação de restrições. Todos os parâmetros das soluções adotadas devem satisfazer essas restrições, caso contrário essas soluções não são realizáveis.” Os mesmos autores dizem que existem dois tipos de problemas de otimização considerados difíceis de resolver:

- (1) Certos problemas de otimização de variáveis discretas, para o qual não existe conhecimento de um algoritmo polinomial exato (i.e. problemas cujo tempo computacional é proporcional a N^n , onde N é o número de parâmetros desconhecidos e n é constante e inteiro). É o caso nomeadamente dos problemas conhecidos como “NP-difícil”, para os quais se afirma que não há nenhum n constante cujo tempo de solução seja limitado por um polinômio de grau n .⁶
- (2) Certos problemas de otimização de variáveis contínuas, para os quais não existe nenhum conhecimento de um algoritmo que permite definitivamente localizar um ótimo global (isto é, a melhor solução possível) num certo número de sequências programáveis.

2.3 O problema da otimização de horários por turnos, nalguns setores de atividade

2.3.1 Transportes terrestres, aéreos e marítimos/fluviais

No setor de atividades de transportes terrestres, aéreos ou marítimos/fluviais, seja de transporte de passageiros ou de mercadorias, existem muitos eventos aleatórios que podem afetar os horários, nomeadamente a meteorologia, o tráfego, as avarias dos equipamentos de transporte, além de eventos ligados à previsão do volume de trabalho (nem sempre é fácil fazer previsões, porque pode haver várias flutuações decorrentes de eventos aleatórios ou muito complexos) e ao pessoal (ausências inesperadas, por exemplo).

Em ([Shibghatullah, Eldabi, and Rzevski 2006](#)) é discutido o papel do supervisor perante eventos disruptivos que perturbam o horário previamente planeado, nomeadamente trabalhadores que se atrasam, que faltam ou que ficam de repente doentes. De seguida é apresentado um quadro conceptual para o desenvolvimento de um sistema eficaz para a afetação das tripulações e discutido o uso de um sistema de múltiplos agentes (MAS) que permite num tempo próximo do real voltar a afetar as tripulações de transportes rodoviários de passageiro. Nesse mesmo artigo é lembrado que os métodos de otimização de horários geralmente aplicados a este setor são:

- Heurísticas (muito utilizadas na década de 1980, ou porque os computadores não tinham capacidade suficiente para correr programas de otimização de grande dimensão ou porque o seu tempo de resolução não era economicamente justificável),
- Meta-heurísticas (aplicação de inteligência artificial como por exemplo a pesquisa *Tabu* e algoritmos genéticos), e
- Programação matemática.

⁶ Por exemplo a construção de um conjunto formado por todos os possíveis subconjuntos do conjunto $\{1, 2, \dots, n\}$, com $n \in \mathbb{N}$.

Os dois primeiros são considerados métodos aproximados porque aplicam algoritmos de pesquisa local, não percorrendo necessariamente a totalidade do domínio. Os métodos aproximados obtêm geralmente resultados de muita qualidade, aproximando-se da solução ótima, podendo até encontrá-la mas não é possível prová-lo. Em relação à programação matemática, há por exemplo algoritmos de programação linear e quadrática que conseguem obter a solução ótima num número finito de passos, sendo assim métodos exatos. Também há algoritmos genéricos de programação não-linear que, não tendo passos finitos, espera-se que converjam, no limite, para uma solução local. As várias combinações dessas metodologias permitem alcançar soluções ótimas ou próximas da ótima. Neste setor de atividades, há similitudes aquando da geração dos horários que podem ser divididas nas seguintes fases:

- (1) Escolha das rotas;
- (2) Atribuição de horários para cada uma das rotas;
- (3) Afetação de equipamentos a essas rotas, por cada horário.

Seguidamente, para a otimização dos horários, são realizadas as seguintes fases, de acordo com [Ernst et al. \(2004\)](#):

- (1) Formação das equipas;
- (2) Otimização das equipas;
- (3) Criação das escalas de serviços para a equipa.

Geralmente, para este tipo de atividade, os turnos são rotativos, porque são praticados em períodos alternados do dia (ou da noite).

Em relação à classificação do tipo de problema, de acordo com [\(De Causmaecker et al. 2004\)](#) “trata-se de planeamento de mobilidade centrada (*mobility centred planning*) porque, havendo transporte, a mobilidade está envolvida. O problema tem quatro variáveis independentes principais: as pessoas (P), o tempo (T), as tarefas ou deveres para serem executados (D) e a localização (L). O foco principal da geração dos horários está na reorganização do escalamento de serviços durante o dia. Os atrasos não podem ser evitados e ocorrem regularmente. Consequentemente, as escalas dependem da progressão do trabalho e dos transportes.”

Exemplos de propostas de soluções para a otimização de horários para estes setores de atividades podem ser consultados em [\(Bojovic and Milenkovic 2010\)](#), [\(Ferreira 2012\)](#), [\(Ammar, Benaissa, and Chabchoub 2013\)](#) e [\(Ezzinbi et al. 2014\)](#), entre outros.

2.3.2 Service Desk (Call Centre, Contact Centre e Help Desk)

No caso do setor de atividade *Service Desk*⁷ (designação que engloba os *Call Centre*, *Contact Centre* e *Help Desk*), são oferecidos vários serviços através de telefone, correio eletrónico ou internet. Os serviços oferecidos podem exigir conhecimentos diferentes ou com diferentes graus

⁷ Fonte: [http://en.wikipedia.org/wiki/Service_desk_\(ITSM\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Service_desk_(ITSM)). Acedido em 13/03/2015. “A ITIL (*Information Technology Infrastructure Library* ou Biblioteca de Infra Estrutura de TI) considera um *call centre*, um *contact centre* ou um *help desk* como tipos limitados do *service desk*, fornecendo apenas uma parte do que um *service desk* pode oferecer. Um *service desk* tem uma abordagem mais ampla e centrada no utilizador (abrange empregados, clientes ou fornecedores), visando proporcionar ao utilizador a informação num único ponto de contacto para todas as necessidades de TI (tecnologias de informação). O *service desk* visa facilitar a integração dos processos de negócios na infraestrutura da gestão dos serviços. Adicionalmente, monitoriza ativamente e regista incidentes e perguntas dos utilizadores, e fornece um canal de comunicação com a comunidade de utilizadores para outras áreas da gestão de serviços. Um *service desk* também fornece um interface para outras atividades, nomeadamente solicitações de mudança por parte do cliente, ou de terceiros (por exemplo, contratos de manutenção) e licenciamento de *software*.”

de dificuldade (*multi-skills*). Assim, atendendo a essas dificuldades, os trabalhadores podem ser repartidos por vários níveis de atendimento, havendo nalguns casos trabalhadores com competências para trabalhar em vários níveis de atendimento. Neste tipo de atividade, é muitas vezes difícil de prever qual o volume de trabalho diário que será necessário satisfazer. Uma previsão do volume de trabalho que fique muito aquém do real obriga a refazer os horários e eventualmente a recorrer a trabalho suplementar, que é mais caro que em período normal de trabalho (PNT) para satisfazer a procura e assim evitar longos tempos de espera para os clientes. E caso se verifique o contrário, isto é, o volume de trabalho for muito menor do que foi previsto, possivelmente haverá muitos tempos de inatividade para os trabalhadores apesar de serem pagos.

Em ([Bhulai, Koole, and Pot 2008](#)) é explicado que para esse tipo de atividade são necessárias quatro fases para a geração dos horários:

- (1) Previsão da carga de trabalho, por níveis de atendimento;
- (2) Pessoal necessário, por cada nível;
- (3) Criação de turnos; e
- (4) Escalas de serviço.

Geralmente neste tipo de atividade os turnos estão desfasados entre si por períodos de tempo que podem variar entre os 15 minutos ou mais. Os turnos tem horas de início e fim diferentes e também podem ter durações diferentes, isto é, há turnos para trabalhadores que trabalham a tempo parcial e turnos para trabalhadores que trabalham a tempo completo.

Em relação à classificação do tipo de problema para estes setor, [De Causmaecker et al. \(2004\)](#) dizem que se “trata de um planeamento de flutuação centrada (*fluctuation centred planning*) porque o número necessário de trabalhadores e/ou a atribuição de tarefas depende de uma procura em constante mudança. A maioria das empresas com procuras flutuantes mantém um registo histórico para ajudar na previsão. Este tipo de problema tem três variáveis independentes principais: pessoas (P), tempo (T) e tarefas ou deveres para serem executados (D). Uma característica geral desses problemas é a importância de uma previsão exata.”

Por exemplo os autores [Dai and Li \(2012\)](#), entre outros, propõem um método para otimização de horários em ambiente *multi-skill*.

2.3.3 Atividades de Saúde Humana

No setor de atividades de saúde humana é fundamental que haja pessoal com as competências necessárias para um atendimento que cumpra com todas as boas práticas. A otimização neste setor, como na maioria dos outros setores, é considerada difícil porque é preciso atender a várias restrições desde as laborais até às preferências dos trabalhadores. Além disso, nem sempre é previsível o volume de trabalho, no que respeita por exemplo ao serviço de urgência. Um número mínimo de pessoal afeto à urgência, em situações imprevistas de picos de volume de trabalho, obriga a que alguns trabalhadores continuem a trabalhar para o turno seguinte, trabalhando eventualmente mais do que o legalmente permitido. Geralmente os turnos são divididos por manhãs, tardes, e noites.

Em relação à classificação do tipo de problema para este setor de atividade, de acordo com os autores [De Causmaecker et al. \(2004\)](#) “trata-se de um planeamento de permanência centrada (*permanence centred planning*) porque é necessária uma cobertura mínima de trabalhadores em todos os momentos. Os trabalhadores laboram por turnos (tipicamente existem três tipos diferentes de turnos, podendo haver mais). Em geral, a permanência é garantida para turnos

rotativos, mas a rotatividade é muito frequentemente interrompida devido a falta de pessoal. É portanto, muitas vezes inevitável que alguns trabalhadores trabalhem dois turnos seguidos. Este tipo de problema tem três variáveis independentes principais: pessoas (P), tempo (T) e tarefas ou deveres para serem executados (D).”

Por exemplo, em ([Todorovic and Petrovic 2013](#)), entre outros, é apresentada uma proposta de otimização de horários para o pessoal de enfermagem.

2.4 Exemplos de metodologias para a otimização de horários por turnos

São apresentadas a seguir algumas metodologias para a otimização de horários por turnos:

Na subsecção 2.4.1, são apresentadas as metodologias de otimização ditas exatas, porque procuram a solução ótima em todo o espaço de pesquisa, e foram baseadas na classificação das metodologias de procura dos autores [Burke and Kendall \(2005\)](#).

Na subsecção 2.4.2, são apresentadas as restantes metodologias, ditas aproximadas, porque procuram uma solução em zonas do espaço previamente definidas, recorrendo a algoritmos ditos “inteligentes”. Esta classificação de algoritmos inteligentes foi baseada na proposta do autor [Brownlee \(2011\)](#).

2.4.1 Algoritmos clássicos – métodos exatos e aproximados

2.4.1.1 *Branch & Bound*

Os autores [Burke and Kendall \(2005, 24-25\)](#) afirmam que “quando somos confrontados com o problema de encontrar uma solução ótima para um conjunto finito de alternativas, uma abordagem óbvia será enumerar todas as alternativas e, em seguida, selecionar a melhor. No entanto, tal abordagem só será computacionalmente viável para problemas de pequena dimensão. A lógica por de trás do algoritmo *Branch & Bound* é a redução do número de alternativas que precisam de ser consideradas, dividindo repetidamente o problema num conjunto de pequenos subproblemas e usando informação local na forma de limites para eliminar aqueles conjuntos que se mostram não ideais. As implementações mais simples de *Branch & Bound* são as baseadas numa abordagem construtiva em que as soluções parciais são construídas elemento a elemento.”

Em ([Bojovic and Milenkovic 2010](#)), os autores propõem um modelo matemático em programação linear inteira para solucionar o problema do escalamento de tripulação em transportes ferroviários, minimizando os custos e respeitando as restrições. Os autores recorrem à linguagem de modelação LINGO e usaram o algoritmo *Branch & Bound* para a resolução do problema.

2.4.1.2 *Dynamic Programming*

Em ([Burke and Kendall 2005, 37](#)) é explicado como funciona o algoritmo de programação dinâmica: “Da mesma forma que o *Branch & Bound*, a programação dinâmica (DP) é um procedimento que resolve problemas de otimização dividindo-os em problemas mais simples. A DP resolve o problema por etapas, lidando com todas as opções num determinado estágio antes de passar para o próximo. Neste sentido, a DP pode ser muitas vezes vista como uma primeira pesquisa de modo extenso. No entanto, ao contrário dos níveis de árvore do *Branch & Bound* que particionam o problema por adição de constrangimentos, as fases em DP estão ligadas por uma relação recursiva. O nome de programação dinâmica deriva da sua

popularidade na resolução de problemas que exigem a tomada de decisões numa sequência de períodos de tempo. Qualquer implementação DP tem quatro ingredientes principais: palcos, estados, decisões e políticas. Em cada etapa, por cada estado viável, toma-se uma decisão sobre a forma de alcançar a próxima fase.”

Em [Beasley and Cao \(1998\)](#) é proposta uma solução para resolver o problema do escalamento da tripulação, de relativamente grande dimensão, recorrendo à programação dinâmica (DP).

2.4.1.3 Network Flow Programming

Os autores ([Burke and Kendall 2005, 45-64](#)) mencionam que “a programação de fluxos de rede lida com a resolução de problemas que podem ser modelados em termos de fluxo de uma mercadoria por meio de uma rede.” E dão algumas sugestões para a aplicação deste algoritmo, nomeadamente problemas de sequenciação (onde o fluxo de i para j significa que i é o antecessor de j), e problemas que envolvem a seleção de células em matrizes (onde o fluxo de i para j representa a seleção da célula (i,j)). Em ([Ford and Fulkerson 1962](#)), é explicado detalhadamente o funcionamento da programação de fluxos de rede.

Em ([Brucker and Qu 2014](#)) é explicado de que forma “o problema da atribuição de turnos e tarefas aos trabalhadores para cobrir a procura pode ser eficientemente resolvido por algoritmos de fluxo de rede, mesmo no caso em que os funcionários não são qualificados para todas as tarefas.”

2.4.1.4 Integer Programming

De acordo com [Burke and Kendall \(2005, 69-70\)](#) “na programação linear existem variáveis de decisão, restrições e uma função objetivo. As decisões assumem valores numéricos. As restrições são usadas para limitar os valores a uma região viável.” “A programação inteira começa da mesma forma que uma programação linear, mas exige que algumas ou todas as variáveis assumam valores inteiros.”

Em ([Van Den Bergh et al. 2013b](#)) é apresentada uma metodologia alternativa para resolver o problema da geração de horários por turnos para trabalhadores do setor da manutenção de aviões, usando programação matemática, simulação de eventos discretos e *data envelopment analysis* (DEA). Assim, o responsável pela geração de horários pode escolher os turnos que forem mais convenientes. A metodologia é explicada da seguinte forma: “Primeiramente, um modelo matemático gera vários turnos viáveis de baixo custo, que são avaliados através de simulações. As características dos turnos e os resultados das simulações são então transmitidas para um modelo DEA, que, em seguida, identifica os turnos eficientes.”

Para o setor de *Service Desk, multi-skill*, [Bhulai, Koole, and Pot \(2008\)](#) desenvolveram um método para o escalamento do pessoal que tem em conta a aleatoriedade da chegada das chamadas. O método é constituído por duas partes:

- (1) A primeira parte recorre ao método desenvolvido pelos mesmos autores em ([Pot, Bhulai, and Koole 2008](#)) para determinação do pessoal necessário ao longo do dia e por níveis de competências, o qual consiste na resolução do dual Lagrangeano aplicado ao modelo de programação linear que representa esta primeira parte do problema.
- (2) Na segunda parte, é efetuada a determinação de um conjunto otimizado de turnos, recorrendo à programação linear inteira.

Em ([Lin and Ying 2014](#)) foi feito um estudo de forma a resolver o problema da geração de horários minimizando o escalamento do pessoal às tarefas (*shift minimization personnel task scheduling problem* - SMPTSP), para qualquer setor de atividade, algoritmo inicialmente introduzido pelos autores [Krishnamoorthy, Ernst, and Baatar \(2012\)](#). Os autores propõem assim um algoritmo que segundo eles é eficaz e eficiente. Esse algoritmo é constituído por três fases que combina as respetivas vantagens de uma heurística construtiva, de uma meta-heurística e de um método exato: “Na primeira fase, uma heurística construtiva é usada para rapidamente obter uma solução inicial para o SMPTSP. Na segunda fase, uma heurística designada por *iterated greedy* (IG), inicialmente proposta em ([Jacobs and Brusco 1995](#)), é aplicada para melhorar a solução inicial e obter um plano de horários próximo do ideal. Finalmente, esta solução quase ótima é considerada como primeira solução, se for viável, representando um limite superior em relação à função objetivo na formulação BIP (*binary integer programming*). De seguida o solucionador de programação matemática, GUROBI, resolve a formulação BIP para obtenção de uma solução ótima.” A formulação BIP usada foi inicialmente apresentada também pelos autores [Krishnamoorthy, Ernst, and Baatar \(2012\)](#).

2.4.2 Exemplos de Algoritmos inteligentes – métodos aproximados

2.4.2.1 Stochastics Algorithms

O autor [Brownlee \(2011, 14\)](#) explica que “os algoritmos de otimização estocástica são aqueles que usam aleatoriedade para provocar um comportamento não-determinístico, contrastando com procedimentos puramente determinísticos.”

Para resolver o problema de otimização de horários para o pessoal dos aeroportos em terra (pessoal técnico - serviços de manutenção) minimizando a violação das restrições flexíveis (*soft constraints*), ([Cho, Wu, and Ip 2009](#)) propõem a aplicação de uma abordagem híbrida baseada no procedimento guloso aleatório adaptativo de procura (*greedy randomized adaptive search procedure* - GRASP) para criar um conjunto de sequências de turnos viáveis, minimizando a violação das restrições e usando uma *Tabu list* para evitar duplicação de conjuntos. Um sistema multiagente é usado para evitar que a solução seja um ótimo local, correndo várias instâncias do algoritmo GRASP e alertando de imediato os outros agentes assim que encontra um conjunto de turnos viáveis. O agente que recolhe esses conjuntos escolhe o melhor, para a solução final.

Em ([Sharif, Ayob, and Hadwan 2011](#)), os autores recorreram à linguagem de programação C++ para aplicarem uma heurística construtiva para resolver o problema do escalamento para o setor de enfermagem: “Esta heurística é resultante de uma hibridização de programação de turnos rotativos com turnos fixos (aleatoriamente). Se a solução não for viável, é aplicado um mecanismo de reparação para produzir uma solução viável. Em seguida, a solução inicial é melhorada através da aplicação de um método de descida aleatória em vizinhança variável (*Variable Neighbourhood Search* - VNS).” Segundo os autores o objetivo principal foi atingido e consiste na geração de um bom plano de escalas de serviço que consegue satisfazer todas as restrições fixas e que tenta satisfazer, tanto quanto possível, todas as restrições flexíveis.”

Em ([Bäumelt, Šůcha, and Hanzálek 2014](#)) é apresentado um método constituído por três fases para resolver o problema do escalamento de trabalhadores em aeroportos que também se pode aplicar à enfermagem. Em ambos os casos o volume de trabalho é variável, havendo alguns picos ao longo das 24 horas. Os trabalhadores têm diferentes competências e existem muitas restrições. O método é descrito da seguinte forma: “A ideia básica encontra-se na transformação de um grande conjunto de turnos num conjunto mais simples. Para a primeira fase, o conjunto de turnos transformado é inicializado por um algoritmo evolutivo e a instância do problema é

transformada novamente por um algoritmo com base na correspondência de um grafo bipartido (segunda fase). O objetivo desta etapa é determinar a posição aproximada dos blocos de turnos. Para a terceira fase, os turnos finais são obtidos durante a otimização baseada no algoritmo TSA (*Tabu Search Algorithm*)."

2.4.2.2 Evolutionary Algorithms

Os algoritmos evolutivos (EA) são algoritmos inspirados na biologia, nomeadamente na evolução das espécies.

Em ([Dréo et al. 2006, 11](#)) é explicado que “o princípio de um algoritmo evolutivo pode ser descrito de uma forma simples. Um conjunto de N pontos num espaço de procura, escolhido *a priori* de forma aleatória, constitui a população inicial; cada x individual da população tem um certo valor de adaptação (*fitness*), que mede o grau de adaptação ao objetivo pretendido. No caso da minimização de uma função objetivo z , a adaptação de x será maior se $z(x)$ é menor. Um EA consiste na evolução gradual de gerações sucessivas, mantendo constante o tamanho da população. Durante as gerações, o objetivo é melhorar globalmente a adaptação dos indivíduos. Esse resultado é obtido através da simulação de dois principais mecanismos que governam a evolução dos seres vivos de acordo com a teoria de Charles Darwin, isto é, a Seleção e a Reprodução.”

Os autores [Aickelin, Burke, and Li \(2009\)](#) apresentaram uma nova técnica para resolver o problema da gestão de horários por turnos, para os setores dos transportes e da saúde, a partir do algoritmo de otimização de roda dentada (*Squeaky Wheel Optimization* - SWO) que foi originalmente desenvolvido pelos autores [Joslin and Clements \(1999\)](#). A incorporação de dois novos operadores (seleção e mutação) permite a evolução do SWO, melhorando assim a capacidade de pesquisa e velocidade de execução. O método foi desenvolvido em C++.

Para resolver o problema de escalamento de serviços em grande escala, os autores [Kyngäs, Kyngäs, and Nurmi \(2012\)](#) descrevem um método baseado na ideia de divisão de uma instância em unidades menores, resolvendo-as separadamente e depois combinando os resultados juntos novamente, usando uma inteligência computacional heurística chamada de algoritmo PEAST (*Population, Ejection, Annealing, Shuffling e Tabu*), que é um método de pesquisa local de base populacional e que foi introduzido pela primeira vez na tese do autor [Kyngäs \(2011\)](#).

2.4.2.3 Physical Algorithms

São algoritmos meta-heurísticos para otimização que simulam processos físicos. Por exemplo o algoritmo de Arrefecimento Simulado (*Simulated Annealing algorithm* - SA), assim chamado “por causa de sua analogia com um processo físico de arrefecimento de sólidos” foi criado pelos autores [Kirkpatrick, Gelatt, and Vecchi \(1983\)](#). Nesse artigo, os autores aplicam esse algoritmo a alguns casos de estudo, nomeadamente o estudo da posição de componentes eletrónicos em placas de circuito integrados e o estudo do problema do caixeiro-viajante, para demonstrarem que o SA tem aplicabilidade na resolução de problemas de otimização.

Para resolver o problema de escalamento para o pessoal de enfermagem, os autores [Bai et al. \(2010\)](#) propuseram uma abordagem híbrida evolutiva, que pretende em primeiro lugar melhorar a capacidade da manipulação das restrições com uma abordagem, através de um método de classificação estocástica que foi desenvolvido pelos autores ([Runarsson and Xin 2000](#)) e, em segundo lugar, melhorar o desempenho do método evolutivo por hibridização através de uma híper-heurística de arrefecimento simulado (SAHH) que foi publicada por aqueles autores em ([Bai et al. 2012](#)).

2.4.2.4 *Swarm Algorithms*

Os algoritmos de enxames (*Swarm Algorithms*) são baseados na imitação do comportamento das colônias de insetos ou de outros animais que vivem em grupo, quando procuram comida ou quando dividem tarefas, entre outras. Os autores [Bonabeau, Dorigo, and Theraulaz \(1999, 7\)](#) definem o termo “inteligência de enxames” da seguinte forma: “é qualquer tentativa em criar algoritmos ou outros sistemas artificiais baseados em comportamento coletivo de colônias de insetos ou de outras colônias de animais observados na natureza para resolver problemas.”

No caso do setor de atividade da Saúde Humana, para o caso particular dos turnos de enfermagem, em ([Todorovic and Petrovic 2013](#)) é apresentada uma nova aplicação do algoritmo de otimização colônia de abelhas (*Bee Colony Optimization Algorithm*), cujo método é descrito sumariamente da seguinte maneira: “O algoritmo de otimização colônia de abelhas foi motivado pela observação dos hábitos de alimentação das abelhas. Durante as iterações, as abelhas artificiais melhoram coletivamente as soluções encontradas por elas. O algoritmo, desenvolvido pelos autores, alterna entre fases construtivas (isto é, começa do zero e constrói uma solução passo a passo) e pesquisas locais (isto é, inicia-se a partir de uma solução completa geralmente gerada aleatoriamente ou por algumas heurísticas e, perturbando essa solução, tenta melhorá-la). Na fase construtiva, as mudanças não programadas são atribuídas aos enfermeiros disponíveis, e na fase de pesquisa local o objetivo é o de melhorar a qualidade da solução.” Segundo os autores, o algoritmo ainda precisa de ser melhorado, mas em comparação com outros descritos na literatura, o mesmo apresenta uma boa performance.

2.4.2.5 *Immune Algorithms*

Os algoritmos imunes (*Immune Algorithms*) pertencem ao campo de sistemas imunitários artificiais que tentam criar sistemas parecidos com os sistemas imunológicos biológicos. Em ([Brownlee 2011, 266](#)) é explicado que “esses sistemas artificiais inspiram-se por uma das três subáreas seguintes: clonagem, seleção negativa e algoritmos de rede imunológica. As técnicas são comumente usadas para agrupar; fazer o reconhecimento de padrões; classificar; otimizar e outros domínios semelhantes a problemas de aprendizagem de máquinas.”

Em ([Lo et al. 2007](#)) é proposto um sistema inteligente para ajudar o utilizador na execução de cenários *What-if*, supostamente de forma eficaz e eficiente, para a resolução do problema da otimização de horários por turnos aplicados à enfermagem. Os autores usam dois tipos de mecanismos inteligentes: CLONALG (*Clonal Selection Algorithm*) e aiNET (*Artificial Immune Network algorithm*), ambos realizados no programa MATLAB.

2.5 Considerações finais

Foram apresentadas várias metodologias de otimização de horários por turnos, para vários setores de atividades, desde métodos exatos até métodos aproximados que recorrem às tradicionais heurísticas e às meta-heurísticas que combinam vários métodos com inteligência artificial (AI) e com algoritmos que tentam replicar comportamentos observados na natureza (colônias de insetos, por exemplo). Há assim uma grande diversidade de técnicas para a otimização de horários. Muitos desses algoritmos podem ser aplicados a este caso de estudo que está ligado à gestão e apoio de passageiros e das suas bagagens, nos aeroportos.

3 O problema da otimização de horários por turnos

O problema da otimização de horários por turnos é bastante comum. É uma tarefa habitualmente demorada e difícil, porque é preciso atender a várias restrições, nomeadamente as ligadas ao Código do Trabalho (CT), aos Instrumentos de Regulamentação Coletiva de Trabalho (IRCT), aos contratos individuais de trabalho, à organização interna da empresa e às preferências dos trabalhadores e, quanto maior o número de trabalhadores e restrições, mais complexa se torna a otimização dos horários.

Além disso, há eventos aleatórios que afetam o trabalho diário, tais como trabalhadores faltarem sem aviso prévio por terem adoecido ou por outro motivo qualquer, ou então um aumento súbito do volume de trabalho, etc. Por causa disso, é preciso às vezes recorrer a horas suplementares que são mais caras do que as horas em período normal de trabalho (PNT). A contratação de novos trabalhadores exige investimento na formação dos mesmos e os resultados dessa formação pode demorar algum tempo até alcançar os níveis de produtividade mínimos exigidos.

Assim, o uso de uma ferramenta de apoio à decisão para a otimização e sequenciação de turnos ajuda a empresa a gerir melhor os trabalhadores afetos aos turnos e permite também simular situações de picos de volume de trabalho.

Este capítulo está dividido nas seguintes secções:

Na secção 3.1. faz-se uma breve apresentação da empresa e da equipa em análise.

Na secção 3.2. descreve-se a situação atual do sistema de geração de horários em uso pela responsável da equipa.

Na secção 3.3. explica-se quais as dificuldades que a responsável encontra ao criar os horários por turnos e quais são as expectativas da mesma em relação a este estudo.

Na Secção 3.4. classifica-se e descreve-se o problema da otimização de horários e a respetiva sequenciação.

Finalmente a secção 3.5 apresenta um sumário do que foi abordado neste capítulo.

3.1 Breve apresentação da empresa e da equipa em análise

A equipa em análise, para a qual foi pedido o estudo de um gerador de horários, está ligada à gestão e apoio dos passageiros e suas bagagens. A equipa está integrada numa departamento que exerce atividades auxiliares dos transportes aéreos, o qual está integrado numa empresa que exerce a sua atividade principal na área dos transportes aéreos de passageiros.

O horário de laboração da equipa é de 24/7.

A equipa é formada por um total de 29 pessoas repartidas por 11 turnos diários e rotativos, em regime permanente. Esses turnos estão ligeiramente sobrepostos para fazer face aos picos de volume de trabalho e têm durações, horas de início e fim diferentes.

A nível do tipo de contrato, há 18 trabalhadores a tempo completo e 11 trabalhadores a tempo parcial e as atividades podem ser exercidas por qualquer um desses trabalhadores.

3.2 Situação atual dos horários por turnos da equipa

O ciclo de rotação dos horários é constituído por uma sequência de turnos (*shift pattern*) a percorrer por todos os trabalhadores integrados no mesmo horário. Os trabalhadores têm direito a dois dias de descanso consecutivos, sendo um para descanso complementar e o outro para

descanso obrigatório. De acordo com a responsável “A rotação deste sector inclui noites e como definido no acordo da empresa não é possível fazer mais de 4 noites, logo a rotação de horário é 5 dias de trabalho, 2 folgas, 4 dias de trabalho.”

Os intervalos para refeições a seguir estão incluídos nos turnos:

“Noite- um intervalo para ceia de 30 minutos;

Manhã – se entrada for às 06h00 tem 2 intervalos, pequeno-almoço 30 minutos e almoço 1 hora,
- se a entrada for às 07h30 tem intervalo para almoço 1h30;

Tarde – um intervalo para jantar 1h30”

Atualmente a responsável cria e gere horários em Microsoft Excel para um período de seis meses. Voltando a repetir o mesmo padrão para os restantes seis meses do ano civil, não sendo aplicadas quaisquer técnicas de otimização. É frequente haver pessoal a mais ou a menos afetos aos horários, implicando custos para a empresa.

Os 11 turnos estão discriminados na Tabela 3-1. Desses 11 turnos, cinco ficam afetos aos trabalhadores com contrato a tempo completo e os outros seis turnos ficam afetos aos trabalhadores com contrato a tempo parcial.

Tabela 3-1: Classificação dos horários por turno

Tempo Completo	Horário	Tempo parcial	Horário
T1	00:00 – 08:00	T6	02:00 – 06:30
T2	06:00 – 14:30	T7	05:00 – 09:30
T3	07:30 – 16:00	T8	09:30 – 14:00
T4	14:00 – 22:30	T9	11:00 – 15:30
T5	15:30 – 00:00	T10	16:00 – 20:30
-	-	T11	19:30 – 00:00

Um dos objetivos da contratação de trabalhadores com contrato a tempo parcial é cobrir as necessidades que não podem ser cobertas pelos trabalhadores com contrato a tempo completo.

Todos os ciclos de rotação têm os dias de descansos integrados (dois dias consecutivos, designados por 2D).

- Para o caso dos trabalhadores com contrato a tempo completo (4 noites, dois dias de descanso, 5 dias de trabalho, dois dias de descanso, 4 dias de trabalho, 2 dias de descanso...), salvo algumas raras exceções (por exemplo para o caso dos trabalhadores-estudantes (artº.90 do CT) ou dos trabalhadores com filho com menos de 12 anos (artº.56 do CT)), a configuração é a seguinte:

4T1 2D 5T4 2D 4T2 2D 5T3 2D 4T1 2D 5T4 2D 4T2 2D 5T5 2D

- Para o caso dos trabalhadores com contrato a tempo parcial (4 noites, dois dias de descanso, 5 dias de trabalho, dois dias de descanso, 4 dias de trabalho, 2 dias de descanso...ou 5 dias de trabalho, dois dias de descanso...) salvo algumas exceções idênticas aos dos trabalhadores a tempo completo, a configuração é a seguinte:

4T6 2D 5T9 2D 4T7 2D 5T8 2D 4T6 2D 5T9 2D 4T10 2D 5T11 2D
5T7 2D/5T8 2D/5T9 2D/ 5T10 2D/ 5T11 2D

De acordo com o nº1 da cláusula 40ª do A.E., é importante distinguir os dias de descanso, porque o trabalho prestado em dia de descanso semanal obrigatório dá direito às seguintes compensações, a gozar num dos 3 dias úteis seguintes:

- a) Se tiver trabalhado mais de 1 hora e até 3 horas – meio-dia de descanso;
- b) Se tiver trabalhado mais de 3 horas - 1 dia completo de descanso.

No fim do horizonte de planeamento o trabalhador pode repetir a mesma sequência ou transitar para uma outra sequência desde que sejam respeitados os dias de descanso a que tem direito e não faça mais de que 4 turnos noturnos seguidos.

3.3 Dificuldades e expetativas na elaboração dos horários, na perspetiva da responsável pela equipa em análise

De acordo com a responsável, há uma lacuna entre o horário desejado e o efetivo pois a distribuição diária não é equitativa sendo necessária sempre a gestão manual. Os meses de Julho a Setembro, o mês de Dezembro e as férias da Páscoa são sempre os mais difíceis por causa do aumento do volume de trabalho. Assim, a responsável gostaria que o gerador de horários permitisse uma melhor distribuição dos trabalhadores respeitando os mínimos diários exigidos para o bom funcionamento do setor.

3.4 Classificação e descrição do problema

De acordo com ([Brucker, Qu, and Burke 2011](#)), este tipo de problema é considerado NP-difícil.

Em ([Burke and Kendall 2005, 320](#)) é explicado que “uma vez que não sabemos como calcular a solução para os problemas NP-difíceis em tempo polinomial, temos que nos contentar com soluções aproximadas (que às vezes podem ser calculado exatamente em tempo polinomial) ou usar métodos de pesquisa para encontrar as melhores soluções possíveis.”

Os autores [De Causmaecker et al. \(2004\)](#), classificam este problema como um planeamento de permanência centrada (*permanence centred planning*) porque é necessária uma cobertura mínima de trabalhadores em todos os momentos. Geralmente os turnos são rotativos. Este tipo de problema tem três variáveis independentes principais: pessoas (P), tempo (T) e tarefas ou deveres para serem executados (D).

De acordo com ([Herbers 2005](#)), o planeamento de pessoal de terra nos aeroportos dá origem a uma série de problemas de otimização de difícil resolução.

Primeiramente, é preciso cobrir as necessidades mínimas de pessoal com funcionários competentes e seguidamente realizar o planeamento dos horários do pessoal, o qual é normalmente realizado em várias etapas:

- Planeamento da procura (*demand planning*): o volume de trabalho é agregado e as tarefas são analisadas, de acordo com a procura esperada;
- Planeamento dos turnos (*shift planning*): são gerados os turnos adequados para cobrir as necessidades mínimas de pessoal;
- Planeamento das escalas de serviço (*rostering*): é realizada a afetação dos trabalhadores aos turnos, ao longo do horizonte de planeamento.

Estas fases estão fortemente inter-relacionadas e em cada uma dessas etapas devem ser resolvidos problemas diferentes de otimização.

Esta dissertação foca-se no Planeamento das Escalas de Serviço, de forma a minimizar os custos, cobrir as necessidades mínimas de pessoal e satisfazer todas as restrições rígidas e a maioria das restrições flexíveis.

Em ([Van den Bergh et al. 2013a](#)) é mencionado que uma das três primeiras classificação do problema de planeamento das escalas de serviço distingue três grupos principais:

- I. Programação dos turnos de trabalho;
- II. Programação dos dias de descanso;
- III. Combinação da programação dos turnos de trabalho com os descansos integrados.

Nesta dissertação, optou-se pelo estudo da combinação da programação de turnos de trabalho com os descansos integrados.

O horizonte diário de planeamento, da equipa em análise, está dividido em intervalos de tempo de duração igual a 30 minutos.

Na literatura, encontram-se geralmente mencionados intervalos de tempo que podem variar entre os 15 minutos, como no caso do *Service Desk*, e as 8 horas, como no caso da enfermagem, entre outros.

As restrições, na empresa onde a equipa em análise está inserida, estão divididas em dois grupos distintos e estão relacionadas com a legislação laboral, o A.E., as regras internas da empresa e as preferências dos trabalhadores:

- I. Restrições rígidas (*hard constraints*): são restrições que não podem ser ignoradas porque estão ligadas por exemplo à legislação;
 - (HC1) As necessidades mínimas de pessoal por cada intervalo de tempo deverão ser cobertas em pelo menos 80%, mas preferencialmente na sua totalidade;
 - (HC2) O total de trabalhadores afetos aos turnos não poderá ser superior à capacidade disponível, caso contrário significa que é preciso contratar mais pessoal;
 - (HC3) Só pode ser atribuído a cada trabalhador um ciclo de rotação, no máximo.
 - (HC4) Os ciclos de rotação do tipo CC ou ECC só podem ser atribuídos a trabalhadores com contrato a tempo completo e os ciclos do tipo CP ou ECP só podem ser atribuídos a trabalhadores com contrato a tempo parcial.
 - (HC5) Nos horários de trabalho com amplitude de 24 horas, a prestação de trabalho no turno integralmente noturno (entre as 00h00 e as 08h00) não deve ultrapassar quatro dias consecutivos e deve ter frequência reduzida, sem prejuízo da satisfação das exigências e da adequação dos recursos disponíveis. (cf. Cláusula 16^a, n^o4 do A.E.)
 - (HC6) Os dias de descanso serão consecutivos e no máximo de dois;
 - (HC7) O descanso mínimo a observar entre a hora fixada em horário para a saída de serviço e a fixada para entrada no dia imediato será de doze horas. (cf. Cláusula 34^a, n^o4 do A.E.)
 - (HC8) Os trabalhadores só poderão ser mudados de turno após um dia de descanso. (cf. Cláusula 35^a, n^o3 do A.E.)
 - (HC9) Os horários finais deverão apresentar os intervalos para descanso de cada trabalhador. (cf. Cláusula 43^a, n^o1, al.d) do A.E.)

- (HC10) O direito a férias adquire-se com a celebração do contrato de trabalho e reporta-se ao trabalho prestado no ano civil anterior, vence-se no dia 1 de Janeiro de cada ano civil e não está condicionado à assiduidade ou efetividade de serviço, sem prejuízo do disposto na lei (cf. Cláusula 53^a, al. 1^a do A.E.)
- (HC11) No ano da contratação, o trabalhador tem direito, após seis meses completos de execução do contrato, a gozar dois dias úteis de férias por cada mês de duração do contrato, até ao máximo de 20 dias úteis. No caso de sobrevir o termo do ano civil antes de decorrido o prazo referido no número anterior ou antes de gozado o direito a férias, pode o trabalhador usufruí-lo até 30 de Junho do ano civil subsequente, mas não pode resultar para o trabalhador o direito ao gozo de um período de férias, no mesmo ano civil, superior a 30 dias úteis (cf. Cláusula 53^a, al. 2^a do A.E.)
- (HC12) O trabalhador-estudante tem direito a marcar as suas férias de acordo com as necessidades escolares, salvo se daí resultar comprovada incompatibilidade com o plano de férias organizado nos termos deste A.E. (cf. Cláusula 48^a, al. 9^a do A.E.)
- (HC13) Os trabalhadores têm direito, em cada ano civil, a um período de férias com a duração de vinte e seis dias úteis, não considerando os dias de descanso nem os feriados (cf. Cláusula 54^a, al. 1^a do A.E.)
- (HC14) Se entre o momento da marcação das férias e o do respetivo gozo se verificar mudança de horário do trabalhador, o início do gozo das férias será ajustado ao início de um turno (cf. Cláusula 55^a, al. 7^a do A.E.).
- (HC15) O período normal de trabalho diário será de 7 horas e 30 minutos, ao qual acrescem os períodos para refeições.
- (HC16) Os ciclos de rotação deverão pertencer ao conjunto de ciclos de rotação admissíveis na empresa.
- (HC17) Os trabalhadores podem escolher um ciclo de rotação preferencial, por cada 52 dias, o qual será satisfeito se se mantiver a cobertura de necessidades mínimas de pessoal.

II. Restrições flexíveis (*soft constraints*): são restrições que desejavelmente não devem ser ignoradas, porque estão ligadas por exemplo às preferências dos trabalhadores.

- (SC1) Possibilidade de escolher os turnos em que se quer pessoal a trabalhar e em que quantidades. Isto é, o total de trabalhadores afetos a turnos, por conveniência, pode ser limitado a valores compreendidos entre 0 e o total de trabalhadores;
- (SC2) O cálculo do número mínimo de trabalhadores para afetar aos ciclos de rotação poderá ser superior à capacidade disponível, alertando assim a responsável pela necessidade de contratação ou pelo recurso a horas suplementares.

O horizonte temporal do ciclo de rotação de referência (*working pattern*) da equipa em estudo estende-se por 52 dias, tanto para o caso dos trabalhadores a tempo completo como para o caso dos trabalhadores a tempo parcial.

Aplicando um desfasamento de um dia nos ciclos obtém-se 52 sequências diferentes, em cada caso.

Assim, para otimizar a afetação dos 58 trabalhadores (os 29 existentes mais 29 caso seja necessário aumentar a quantidade de trabalhadores) aos 131 ciclos de rotação de referência não incluindo 35 ciclos especiais que refletem preferências de trabalhadores, obtemos $131 \times 58 = 7598$ variáveis de decisão, muito acima da capacidade do Solver incorporado no Microsoft Excel que está limitado a 200 variáveis de decisão, pelo que foi necessário fazer uma pesquisa na literatura para encontrar solucionadores robustos e preferencialmente gratuitos que pudessem ser implementados em Microsoft Excel.

Após pesquisa, encontraram-se dois solucionadores criados por ([Mason 2012](#), [Mason 2013](#)), o *OpenSolver* e o *SolverStudio*, respetivamente.

De acordo com o autor, o *OpenSolver* é um *software* de código aberto sob a forma de um suplemento para Microsoft Excel e foi programado em VBA - *Visual Basic for Applications*. O *OpenSolver* permite aos utilizadores resolver modelos de programação linear (LP) ou programação inteira (IP) usando o solucionador COIN-OR CBC⁸, o qual recorre aos algoritmos CBC (*cut - branch & bound*) e MILP (*mixed integer linear programming*) para resolver esses modelos.

O *OpenSolver* não tem nenhuma limitação de tamanho em relação às variáveis e pode ser descarregado gratuitamente em <http://www.opensolver.org>.

Em relação ao *software StudioSolver*, de acordo com o autor [Mason \(2013\)](#) o mesmo é destinado a utilizadores com conhecimentos avançados de linguagens de modelação matemática, pelo que não foi essa a escolha para esta implementação.

Para este estudo, optou-se pelo *OpenSolver*, porque o mesmo é de fácil utilização e consegue cumprir com os objetivos de otimização, apesar do elevado tempo computacional.

Em ([Burke and Kendall 2005, 22](#)) é mencionado que “um ponto importante em relação aos modelos de programação linear (LP) é que a região viável é um espaço convexo e a função objetivo também é uma função convexa. A Teoria de Otimização diz-nos que, enquanto as variáveis puderem assumir quaisquer valores não-negativos reais (possivelmente com limites superiores), a melhor solução pode ser encontrada num ponto extremo da região viável.”.

Os autores também mencionam que “o caso geral em que as variáveis são obrigadas a assumirem valores inteiros, como a conhecida programação inteira (IP), torna o problema mais difícil.”

Ainda de acordo com os mesmos autores, um conceito importante na programação linear é a dualidade. Para resolver um problema de maximização na qual todas as restrições são do tipo “ \leq ” e em que essas restrições e todas as outras variáveis são não-negativas, isto é, um problema da forma:

$$\begin{aligned} & \max CX \\ & \text{sujeito a: } AX \leq b \\ & \quad X \geq 0 \end{aligned} \tag{3.4.1}$$

O dual é definido da seguinte forma:

$$\begin{aligned} & \min b^T Y \\ & \text{sujeito a: } A^T Y \geq C^T \\ & \quad Y \geq 0 \end{aligned} \tag{3.4.2}$$

Ao problema original dá-se o nome de primal. Uma propriedade importante do dual é que o valor da função objetivo que corresponde a solução ótima do primal é a mesma do dual.

⁸ Fonte: <https://projects.coin-or.org/Cbc>. Acedido a 14/06/2015.

Existem duas abordagens para encontrar a solução de problemas de programação linear (LP):

- O método tipo “Simplex” que procura uma solução nos pontos extremos da região viável do problema primal ou do problema dual até que as condições de otimização fiquem satisfeitas.
- O método de pontos interiores, assim chamado porque procura a solução no interior da zona viável.

Os autores explicam que antes da aplicação do algoritmo, quando o problema é IP, há que aplicar uma programação linear chamada de relaxação linear (LR). A relaxação linear é realizada pela remoção das restrições de integralidade. Resolvendo o problema na forma de LR, é efetuado um salto para a solução ótima do problema IP e às vezes (com sorte) consegue-se a solução ótima do problema IP. Se não se conseguir a solução ótima, pode-se recorrer por exemplo ao algoritmo *Branch & Bound* para encontrar uma solução para o problema IP. Contudo, nem sempre esse algoritmo consegue encontrar rapidamente uma solução, pois na pior das hipóteses um problema com n variáveis binárias pode ter 2^n subproblemas. Este crescimento exponencial é inerente a qualquer algoritmo de programação inteira, a menos que $P = NP$, isto é:

1 - As soluções para o problema podem ser verificadas rapidamente (um problema de classe P poder ser resolvido num tempo polinomial numa máquina determinística de Turing⁹) e

2 - As suas soluções podem ser calculadas rapidamente também (um problema de classe NP pode ser resolvido em tempo polinomial numa máquina não determinística de Turing).

Para o caso do problema em estudo o qual não verifica simultaneamente a condição 1 e 2 acima, porque a quantidade de variáveis binárias é elevada como já se referiu. O tempo computacional para encontrar uma solução seria muito elevado, se o solucionador não aplicasse técnicas mistas de programação linear e inteira (MILP) para converter parte dessas variáveis binárias em variáveis não inteiras, e assim reduzir o tempo computacional.

A sequenciação das Escalas de Serviço também revela-se difícil de executar, porque alguns ciclos não se repetem de 52 em 52 dias e há vários eventos que alteram o planeamento inicial das Escalas de Serviço, tais como as férias, as formações ou as ausências programadas ou não.

3.5 Considerações finais

Neste capítulo fez-se uma breve apresentação da equipa em análise. A responsável pela equipa disse que não tem aplicado quaisquer técnicas de otimização e o processo de escalamento de pessoal é realizado duas vezes por ano, sendo necessário às vezes refazer os horários, por causa de ausências não programadas de trabalhadores. Apresentaram-se as dificuldades e expectativas da responsável em relação aos horários e classificou-se o problema como um planeamento de permanência centrada, descrevendo-o como um problema do tipo NP-difícil.

⁹Fonte: Wikipédia a Enciclopédia livre. https://en.wikipedia.org/wiki/Non-deterministic_Turing_machine. Acedido a 14/06/2015. “Em ciência da computação teórica, uma máquina de Turing é uma máquina teórica que é usado em experimentos de pensamento para examinar as capacidades e limitações de computadores. Numa máquina de Turing determinística, o conjunto de regras prescreve no máximo, uma ação a ser executada para qualquer situação. Numa máquina de Turing não-determinística (NTM), por outro lado, pode ter um conjunto de regras que prescreve mais de uma ação para uma determinada situação. Por exemplo, uma máquina de Turing não-determinística pode ter ambos "Se você está no estado 2 e você vê um 'A', altere-o para um 'B' e mova-se para a esquerda" ou então altere-o para um 'C' e mova-se para a direita "no seu conjunto de regras.”

4 Proposta de Resolução

O planeamento dos horários por turnos para o pessoal de terra dos aeroportos, como é o caso deste estudo, envolve várias etapas conforme ilustração 4-1:

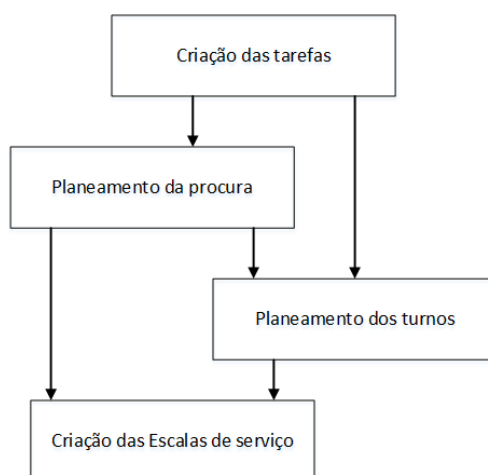


Ilustração 4-1: Fases de planeamento dos horários do pessoal de terra dos aeroportos. (Adaptado de Herbers, Jörg. 2005. "Models and Algorithms for Ground Staff Scheduling on Airports.")

Assim de acordo com [Herbers \(2005\)](#), o primeiro passo é a criação das tarefas, a qual está relacionada com o serviço que é preciso executar e que está geralmente dependente do planeamento dos horários de voos. O segundo passo consiste em criar os turnos para cobrir as necessidades mínimas de pessoal em cada um dos intervalos de tempo. O terceiro e último passo consiste na criação das Escalas de Serviço.

No caso da equipa em análise, a empresa já definiu as tarefas tendo em conta a capacidade dos recursos humanos para fazer face ao volume de trabalho e mantendo a qualidade do serviço.

No que respeita aos turnos, apesar dos mesmos já terem sido criados, é apresentado em Microsoft Excel a possibilidade de modificar os turnos, se a empresa assim o entender.

Para a criação das Escalas de Serviço existem dois tipos de abordagens conforme mencionado no trabalho do autor [Thompson \(1999\)](#):

- I. Resolver o problema do escalamento, dividindo-o em das partes:
 - i. Afetação de um número mínimo de trabalhadores a turnos, sem ter em conta as preferências ou a disponibilidade desses trabalhadores;
 - ii. Afetação dos turnos aos trabalhadores, de acordo com o padrão de turnos obtido na primeira fase;
- II. Resolver em simultâneo a afetação de um número mínimo de trabalhadores a turnos e a afetação desses trabalhadores a esses turnos.

O mesmo autor diz que é mais eficiente uma abordagem num único passo, isto é, uma abordagem holística em que o planeador de horários considera os serviços que são necessários executar, os intervalos de tempo em que é preciso executar esses serviços e simultaneamente afetar esses serviços aos trabalhadores. Também se optou neste estudo por resolver o problema do escalamento de pessoal dessa forma.

Verifica-se que se trata de um problema de cobertura de conjuntos. Assim, começou-se por analisar os ciclos de rotação (sequência de turnos e descansos) que a responsável pela equipa em análise tem vindo a aplicar e que satisfazem em mais de 80% as necessidades mínimas de

cobertura de pessoal e satisfazem as restrições legais. Assim, criou-se um conjunto completo de 166 ciclos de rotação conforme já foi referido.

Aquando da otimização, os ciclos que cumprem com todas as restrições serão afetos aos trabalhadores. Depois é realizada a sequenciação desse conjunto de ciclos para os restantes dias do ano, como é explicado no Capítulo 5.

Há vantagens nesta abordagem de construção de sequências de turnos em relação a uma abordagem de construção de turno a turno, nomeadamente a redução da complexidade do problema. Pois não é necessário considerar as várias restrições ligadas aos turnos porque já foram consideradas durante a construção das sequências, nomeadamente os trabalhadores só poderem fazer um máximo de 4 turnos da noite consecutivos, as mudanças de turno só se poderem efetuar após um dia de descanso, entre outras.

Após pesquisa na literatura encontraram-se várias propostas para a resolução do problema de otimização recorrendo a ciclos de rotação (*shift pattern*) com ou sem os dias de descansos, tais como em ([Cho, Wu, and Ip 2009](#)) ou como em ([Ohara and Tamaki 2014](#)) onde é explicado um método que recorre à geração de colunas (*column-generation-based*) para tratar grandes quantidades de ciclos de rotação.

A de ([Caprara, Monaci, and Toth 2003](#)) é muito completa e segundo esses autores “a resolução do problema de otimização de Escalas de Serviço pode ser dividida em duas fases. A primeira fase está relacionada com a afetação dos trabalhadores a um período de curto prazo, normalmente um dia. A segunda fase consiste em afetar os trabalhadores para os restantes dias do horizonte de planeamento, geralmente de longo prazo, e que inclui os dias de descanso. Os autores consideram um horizonte de planeamento de n dias, que são indicados por $N: = \{1, \dots, N\}$. As funções a desempenhar em cada dia representam a saída (*output*) da primeira fase que é uma entrada (*input*) para o problema. O objetivo dos autores é resolver o problema da segunda fase, isto é, minimizar a quantidade de trabalhadores afetos aos turnos ao longo do horizonte de planeamento. Os algoritmos recomendados para a primeira fase são a programação dinâmica (*dynamic programming*) ou a programação linear inteira (*integer linear programming* - ILP). A segunda fase é menos crítica, embora o problema seja ainda NP-difícil e desafiante do ponto de vista da investigação. Trata-se de um problema de resolução viável que pode ser resolvido com métodos heurísticos através de uma sequência de problemas de transporte também conhecido por programação de fluxos de rede (*network flow programming*). Este procedimento pode não encontrar uma solução (mesmo se houver pelo menos uma).”

Assim, este capítulo está dividido da seguinte forma:

A secção 4.1 apresenta a primeira parte da proposta de resolução do problema que consiste em permitir que o utilizador possa introduzir as necessidades de pessoal ao longo do dia e que é, exceto para alguns meses (férias, Natal, Páscoa), idêntica ao longo dos 365 dias do ano e a respetiva distribuição dos turnos ao longo do dia, em Microsoft Excel.

Na secção 4.2 é apresentada a segunda parte da proposta de resolução do problema que consiste em permitir que o utilizador possa modificar os turnos em relação à duração, horas de início e de fim, e a respetiva visualização gráfica. Também é descrito o modelo matemático que explica de que forma o utilizador pode fazer o cálculo do número mínimo de trabalhadores a afetar a cada turno, recorrendo à programação linear inteira.

Na secção 4.3 é apresentada a terceira parte do problema que consiste na apresentação do modelo matemático e dos métodos para afetação de cada um desses trabalhadores aos turnos, de modo a cobrir as necessidades mínimas acima mencionadas e tendo em atenção todas as restrições. Ainda nesta secção, é descrita a sequenciação dos turnos para os trabalhadores.

Conclui-se este capítulo com a secção 4.4 onde é apresentada uma síntese do que foi discutido.

4.1 Gráfico das necessidades mínimas de trabalhadores e da distribuição dos turnos, ao longo das 24h.

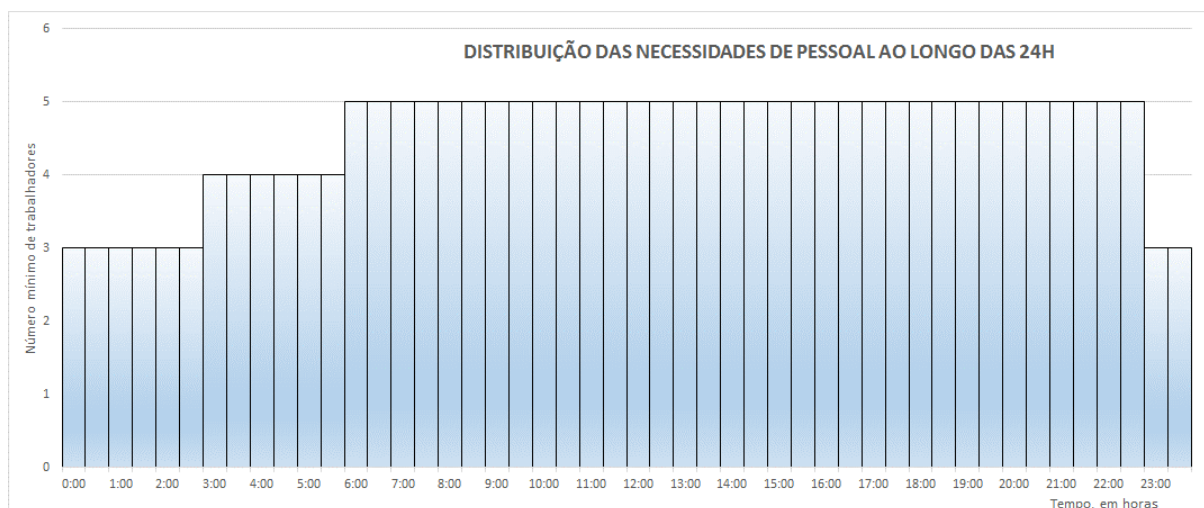


Ilustração 4-2: Gráfico das necessidades mínimas de trabalhadores ao longo das 24 horas

A ilustração 4.2. mostra a previsão das necessidades mínimas de trabalhadores por cada intervalo de 30 minutos, ao longo das 24 horas. Esta previsão foi elaborada de acordo com a informação disponibilizada pela responsável da equipa em análise.

Geralmente, de acordo com (Herbers 2005), para este setor de atividade existem entre 10 a 600 tipos de turnos.

No caso da equipa em análise como já foi referido, há 11 turnos diferentes ligeiramente sobrepostos, conforme se pode ver na ilustração 4.3 a seguir:

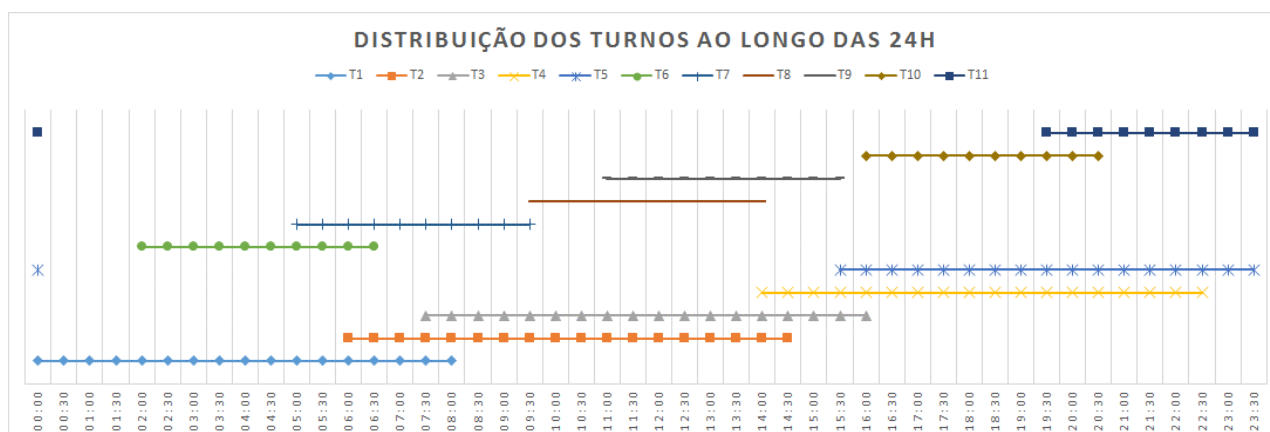


Ilustração 4-3: Distribuição dos turnos ao longo das 24 horas

O Gerador de Horários discutido no Capítulo 5 possibilita a modificação das necessidades mínimas de pessoal e dos turnos seja a nível da duração ou das horas de início e fim.

4.2 Modelo matemático para afetação de um número mínimo de trabalhadores aos turnos

Para fazer a afetação do mínimo de pessoal por cada turno, recorreu-se à programação linear inteira. Os dados de entrada (*input*) são as necessidades mínimas de pessoal por cada intervalo de 30 minutos, sujeitos a algumas restrições, nomeadamente à quantidade máxima de trabalhadores a tempo completo e a tempo parcial e a distribuição dos turnos ao longo das 24 horas. Os dados de saída (*output*) são o número mínimo de trabalhadores por cada turno.

Este modelo é útil para as seguintes situações, entre outras:

- Criação manual de sequências de turnos para obter a respetiva informação da quantidade mínima de trabalhadores através da escolha da quantidade de pessoas para os intervalos mínimos ou máximos desses turnos.
- Averiguar se um determinado conjunto de trabalhadores repartidos por alguns turnos é suficiente para satisfazer as necessidades mínimas e, se assim não for, quais são os intervalos em que é preciso recorrer a horas suplementares.

O modelo matemático apresentado a seguir, foi adaptado da formulação apresentada em ([Ohara and Tamaki 2012](#)).

Existem $u \in \{1, 2, \dots, U\}$ trabalhadores que trabalham a tempo completo, e $v \in \{1, 2, \dots, V\}$ trabalhadores que trabalham a tempo parcial, repartidos pelos turnos $t \in \{1, 2, \dots, 11\}$

(A) Variáveis e Constantes

Constantes:

U total de trabalhadores com contrato a tempo completo

V total de trabalhadores com contrato a tempo parcial

Variáveis independentes:

$t = 1, 2, \dots, 11$, corresponde ao índice dos turnos

$i = 1, 2, \dots, 48$, corresponde aos índices dos intervalos de 30 minutos

Variáveis dependentes:

c_i é o custo de trabalhadores que iniciam o trabalho no período i

e_i é o número de trabalhadores mínimos para o intervalos de tempo i

y_t é o número de trabalhadores que iniciam o trabalho no turno t

$$y_t = \sum_{i=1}^{48} a_{ti} x_i \quad \text{para } t = 1, 2, \dots, 11 \quad (4.1)$$

Variáveis de decisão:

x_i é o número de trabalhadores que inicia a prestação de trabalho no período i

(B) Expressões relacionais:

$$a_{ti} = \begin{cases} 1, & \text{se } i \text{ corresponde a um intervalo de trabalho } t = 1, 2, \dots, 11 \\ 0, & \text{para os restantes casos} \end{cases}$$

(C) Restrições:

I. Restrições Rígidas (*Hard Constraints*): São restrições que não podem ser ignoradas e que foram introduzidas nos parâmetros do solucionador.

(HC1) As necessidades mínimas de pessoal por cada intervalo deverão ser cobertas em mais de 80%, mas preferencialmente deverão sê-lo na totalidade.

$$\sum_{t=1}^{11} a_{ti} x_i \geq e_i, \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, 48 \quad (4.2)$$

$$x_i \in \mathbb{N}_0 \quad (4.3)$$

(HC2) O total de trabalhadores afetos aos turnos não poderá ser superior à capacidade disponível

$$\sum_{t=1}^5 y_t \leq U \quad (4.4)$$

$$\sum_{t=6}^{11} y_t \leq V \quad (4.5)$$

II. Restrições Flexíveis (*Soft Constraints*): São restrições que podem ser ignoradas ou alteradas de acordo com as conveniências.

(SC1) Possibilidade de escolher os turnos em que se quer pessoal a trabalhar e em que quantidades. Isto é, o total de trabalhadores afetos a turnos, por conveniência, pode ser limitado a valores compreendidos entre 0 e o total de trabalhadores.

$$a \leq y_t \leq b, \quad \text{para } t = 1, 2, \dots, 5 \wedge a, b \in \{0, 1, 2, \dots, U\} \wedge a < b \quad (4.6)$$

$$m \leq y_t \leq n, \quad \text{para } t = 6, 7, \dots, 11, \wedge m, n \in \{0, 1, 2, \dots, V\} \wedge m < n \quad (4.7)$$

(D) Função objetivo:

O objetivo da função é minimizar a quantidade de trabalhadores afetos aos turnos e simultaneamente minimizar o custo. Pois os turnos que abrangem o período noturno, isto é, o prestado entre as 20h00 de um dia e as 07h00 do dia seguinte, são pagos com um acréscimo de 25% sobre a remuneração mínima horária garantida (Rmhg).

$$\min (\sum_{i=1}^{48} c_i x_i) \quad (4.8)$$

Este modelo matemático é facilmente implementado em Microsoft Excel com o recurso ao Solver ou ao *OpenSolver*.

4.3 Modelo matemático para a afetação dos trabalhadores aos turnos e metodologia para a respetiva sequenciação

Antes da apresentação do modelo matemático para a afetação dos trabalhadores aos turnos e da metodologia para a sequenciação, descreve-se de seguida como se desenvolveu a ideia para solucionar esta parte do problema da otimização de horários por turnos e da respetiva sequenciação.

Após uma análise de conteúdos baseada nos documentos que constam do Capítulo 2 e da informação fornecida pela responsável da equipa em análise, no que respeita aos horários por turnos, resolveu-se começar da seguinte forma:

Em primeiro lugar foi criada uma Tabela dos Ciclos de Rotação, com todos os ciclos de rotação admissíveis, isto é, 166 ciclos. Há vantagens e desvantagens na aplicação de ciclos rotativos. No que respeita às vantagens há mais equilíbrio na atribuição dos turnos aos trabalhadores, pois todos eles acabam por fazer as mesmas sequências de turnos e descansos e os trabalhadores conseguem saber com antecedência quais os turnos que lhes foram atribuídos. No que respeita às desvantagens, uma vez que os ciclos são rotativos, é mais difícil alterá-los no caso de imprevistos, tais como ausências sem aviso prévio de trabalhadores ou alterações repentinas ao volume de trabalho.

Em segundo lugar foram elaboradas todas as restrições (conjunto de equações e inequações) para satisfazer a cobertura das necessidades mínimas de pessoal e outras regras para garantir que só é escolhido um ciclo por cada trabalhador.

Em terceiro lugar, foi criado um calendário para a inserção ou consulta dos dias de férias, de formação e de ausências programadas dos trabalhadores.

Em quarto lugar foi criada uma Tabela de Preferências para escolha de ciclos de rotação.

Em quinto lugar foi criada o Espaço das Variáveis de Decisão, cujas colunas representam os índices dos ciclos e as linhas representam os índices dos trabalhadores. Cada célula tem o valor 0 ou 1, após otimização. O conjunto das células com o valor de 1 significa a afetação de um número mínimo de trabalhadores a determinados ciclos de rotação, satisfazendo todas as restrições e minimizando os custos. O resultado da otimização, obtido com a ajuda do *OpenSolver* é apresentado numa tabela denominada Escala de Serviços para 52 dias, cujas linhas representam os ciclos de rotação ao longo de 52 dias para os trabalhadores que foram selecionados pelo solucionador.

Finalmente, foi realizada a sequenciação das Escalas de Serviço até ao final do ano civil, com a ajuda do VBA – *Visual Basic for Applications*, que consistiu em repetir o conjunto de 52 ciclos da Escala de Serviço otimizada até perfazer 365 dias, tendo em atenção os ciclos especiais que não se repetem com aquela frequência (a tabela Escalas de Serviço destaca esses ciclos a vermelho com fundo cor de rosa). A sequenciação pode ser efetuada a partir da data que se quiser, havendo sempre a possibilidade de fazer alterações manuais ou voltar a otimizar.

Existem diferenças a nível das remunerações entre os trabalhadores por causa de uma anuidade que é atribuída a todos os trabalhadores por cada ano de antiguidade na Empresa.

Se houver períodos com défice de trabalhadores, poderá ser necessário recorrer a horas suplementares. De acordo com ([Dowling et al. 1997](#)), para este setor de atividades é prática corrente, recorrer entre 20 a 30% de horas suplementares, por motivos económicos. O recrutamento de trabalhadores com as competências necessárias para o bom desempenho das funções é difícil e a formação de novos trabalhadores fica mais cara que recorrer a horas suplementares.

O objetivo da otimização será a minimização dos trabalhadores afetos aos turnos, a minimização dos custos com os trabalhadores e a maximização das preferências dos trabalhadores.

É apresentado a seguir, o modelo matemático para a otimização das Escalas de Serviços para 52 dias, o qual foi realizado recorrendo à programação linear inteira.

Os dados de entrada (*input*) são o número mínimo de pessoas por cada intervalo de 30 minutos (e_i , $i=1,2,\dots,48$ intervalos de tempo), a percentagem de horas suplementares h_i , a quantidade de trabalhadores ($w=1,2,\dots,U'+V'$) e todos os índices dos ciclos de rotação predefinidos (f_{sk} , $s=1,2,\dots,166$ e $k=1,2,\dots,52$ dias).

Estes dados de entrada estão sujeitos a restrições, nomeadamente será atribuído, no máximo, um ciclo por cada trabalhador e as necessidades mínimas diárias de pessoal deverão ser cobertas em pelo menos 80%, nos períodos em que a responsável pela equipa em análise achar mais conveniente.

Os dados de saída (*output*) são a afetação de um ciclo de rotação aos trabalhadores estritamente necessários, apresentado sob a forma de um Plano de Escalas para 52 dias, a matriz R .

(A) Variáveis e Constantes

Variáveis independentes:

$k = \{1,2,\dots,K\}$ dias

$s = \{1,2,\dots,S\}$ corresponde ao índice dos ciclos de rotação admissíveis

$u = \{1,2,\dots,U'\}$ trabalhadores com contrato a tempo completo

$v = \{1,2,\dots,V'\}$ trabalhadores com contrato a tempo parcial

$w = \{1,2,\dots,U' + V'\}$, corresponde ao índice dos trabalhadores

Constantes

$D_{[w \times k], w=1,2,\dots,U'+V', k=1,2,\dots,365}$, é uma matriz de cadeias de caracteres denominada Calendário tem w linhas ($U'+V'$ trabalhadores) e k colunas (365 dias). Um registo em branco significa que o trabalhador w está disponível para trabalhar no dia k , caso contrário não está disponível porque ou está de férias (FE) com dias de descansos intercalados (DC) e (DO) ou em formação (FO) ou ausente (FA).

$F_{[s \times k], s=1,2,\dots,166, k=1,2,\dots,52}$, é uma matriz de cadeias de caracteres, denominada Tabela dos Ciclos de Referência, que contém todos os 166 ciclos admissíveis. As linhas s são as sequências de turnos e descansos ao longo de 52 dias, colunas essas representadas por k . As designações dos ciclos estão de acordo com o tipo de ciclo, isto é, para o caso dos trabalhadores a tempo completo, os ciclos contêm a designação “CC” ou “ECC”, no caso dos ciclos especiais, isto é, que não se repetem de 52 em 52 dias e, para o caso dos trabalhadores com contrato a tempo parcial, os ciclos contêm a designação “CP” ou “ECP”, de forma semelhante à dos trabalhadores a tempo completo.

Variáveis dependentes

c_w é a remuneração mínima horária garantida (Rmhg) para o trabalhador w

e_i é o número mínimo de trabalhadores necessários para o intervalo de tempo i

h_i é a percentagem de horas suplementares para o intervalo de tempo i

x_{ki} é o número de trabalhadores que inicia o trabalho no dia k para o intervalo de tempo i

$P_{[w \times s], w=1,2,\dots,U'+V', s=1,2,\dots,166}$, é uma matriz binária, denominada Tabela de Preferências para escolha de ciclos de rotação, cujos elementos p_{ws} , por defeito têm o valor 0 ou têm o valor 1 no caso de escolha de determinado ciclo de rotação s para o trabalhador w .

$R_{[w \times k], w=1,2,\dots,U'+V', k=1,2,\dots,52}$, esta matriz denominada Escalas de Serviço para 52 dias é resultante do produto da Matriz Calendário com a transposta do produto da Matriz dos

Ciclos de Referência com a soma das matrizes G (Espaço das Variáveis de Decisão) e a Matriz P (Preferências de Ciclos), isto é:

$$R_{[w \times k]} = [(G_{[w \times s]} + P_{[w \times s]}) \times F_{[s \times k]}]^T \times D_{[w \times k]}, \quad w=1, \dots, U'+V', k=1, \dots, 52, s=1, \dots, 166 \quad (4.9)$$

Cada elemento resultante desta matriz terá uma das seguintes cadeia de caracteres:

- Um turno ou um dia de descanso, porque a soma de $G+P$ resulta em 1 e a matriz D tem célula vazia.
- Um dia de férias ou formação ou falta ou dia de descanso porque é o que consta da matriz D .

Variáveis de decisão:

$G_{[w \times s], w=1,2,\dots,U'+V', s=1,2,\dots,131}$, é uma matriz binária, denominada Espaço das Variáveis de Decisão, onde cada elemento g_{ws} , toma o valor 0 ou, 1 no caso do solucionador escolher um ciclo s para o trabalhador w . A escolha terá em conta a cobertura mínima das necessidades de pessoal por cada intervalo de tempo i e somente um ciclo será atribuído por cada trabalhador, após soma de controlo das linhas da Matriz P (que contém + 35 ciclos preferenciais) com esta Matriz G .

(B) Expressões relacionais:

$$a_{ti} = \begin{cases} 1, & \text{se } i \text{ corresponde a um intervalo de trabalho } t \\ 0, & \text{para os restantes casos} \end{cases}$$

$$b_s = \begin{cases} 1, & \text{se os ciclos de rotação contiverem a designação CC ou ECC} \\ 0, & \text{nos restantes casos} \end{cases}$$

$$g_{ws} = \begin{cases} 1, & \text{se foi atribuído um ciclo de rotação ao trabalhador } w \\ 0, & \text{nos restantes casos} \end{cases}$$

$$p_{ws} = \begin{cases} 1, & \text{se o trabalhador } w \text{ escolheu ciclo de rotação } s \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

(C) Restrições:

I. Restrições Rígidas (*Hard Constraints*): São restrições que não podem de forma alguma serem ignoradas e que foram introduzidas nos parâmetros do solucionador.

(HC1) O número de trabalhadores por cada intervalo de 30 minutos deverá cobrir pelo menos 80% das necessidades mínimas para aqueles intervalos de tempo.

$$\sum_{t=1}^{11} a_{ti} x_{ki} \geq h_i e_i, \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, 48 \text{ e } k=1, 2, \dots, 52 \quad (4.10)$$

(HC2) O total de trabalhadores afetos aos ciclos não deverá ser superior à capacidade disponível definida pela responsável.

$$\sum_{w=1}^{U'} \sum_{s=1}^{166} (g_{ws} + p_{ws}) \leq U' \quad (4.11)$$

$$\sum_{w=(U'+1)}^{V'} \sum_{s=1}^{166} (g_{ws} + p_{ws}) \leq V' \quad (4.12)$$

(HC3) Só pode ser atribuído no máximo um ciclo de rotação a cada trabalhador.

$$\sum_{s=1}^{166} (g_{ws} + p_{ws}) \leq 1 \quad \text{para } w = 1, 2, \dots, U'+V' \quad (4.13)$$

(HC4) Os ciclos de rotação cuja designação se inicia com “CC” ou “ECC” só podem ser atribuídos a trabalhadores com contrato a tempo completo e os ciclos cuja designação

se inicia com “CP” ou “ECP” só podem ser atribuídos a trabalhadores com contrato a tempo parcial.

$$\sum_{s=1}^{166} (g_{ws} + p_{ws}) \times b_s \leq 1 \quad \text{para } w=1,2,\dots,U' \quad (4.14)$$

$$\sum_{s=1}^{166} (g_{ws} + p_{ws}) \times b_s = 0 \quad \text{para } w=1,2,\dots,V' \quad (4.15)$$

II. Restrições Flexíveis (*Soft Constraints*): São restrições que podem ser ignoradas e por isso não foram introduzidas nos parâmetros do solucionador.

(SC2) O cálculo do número mínimo de trabalhadores para afetar aos ciclos de rotação poderá ser superior à capacidade disponível, alertando assim o responsável pela necessidade de contratação ou pelo recurso a horas suplementares.

Para isso, basta atribuir a U' e V' os valores pretendidos.

$$U', V' \in \mathbb{N}_0$$

(D) Função objetivo:

O objetivo desta função é minimizar o custo e a quantidade de trabalhadores afetos aos ciclos de rotação e maximizar as preferências dos trabalhadores.

$$\min \sum_{w=1}^{U'+V'} \sum_{s=1}^{166} c_w \cdot (g_{ws} + p_{ws}) \quad (4.16)$$

A sequenciação com a ajuda do VBA – *Visual Basic for Applications* é realizada da seguinte forma:

O primeiro conjunto de 52 dias é copiado para o Plano Anual das Escalas de Serviço a começar na data que for conveniente. Antes de voltar a copiar o próximo conjunto para a data seguinte (52 dias depois), deve-se escolher os ciclos que dão continuidade aos ciclos especiais (a tabela Escalas de Serviço destaca esses ciclos a vermelho com fundo cor de rosa, uma vez que não se repetem de 52 em 52 dias). Isto é, é necessário atribuir essa escolha na Tabela das Preferências (Matriz P) e se for necessário limpar a seleção anterior no Espaço das Variáveis de Decisão (Matriz G). A sequenciação pode ser efetuada a partir da data que se quiser, havendo sempre a possibilidade de fazer alterações manuais ou voltar a otimizar.

4.4 Considerações finais

Neste capítulo, apresentou-se um método de resolução do problema da geração, otimização e sequenciação de horários por turnos. Esse método está dividido em 3 partes.

A primeira parte consistiu na apresentação de um gráfico resultante de um quadro criado em Microsoft Excel para inserção das previsões de necessidades mínimas de pessoal por cada intervalo de 30 minutos para fazer face ao volume de trabalho.

A segunda parte descreve o modelo matemático para a otimização do número mínimo de trabalhadores aos turnos para cobrir as necessidades mínimas diárias, recorrendo à programação linear inteira. Esse modelo ILP é depois resolvido recorrendo ao Solver ou ao *OpenSolver* no Microsoft Excel. A ferramenta resultante também permite a análise dos períodos em que é preciso recorrer a horas suplementares.

A terceira parte consistiu na apresentação do modelo matemático para a afetação dos trabalhadores aos turnos para 52 dias, recorrendo à programação linear inteira. A ferramenta resultante apresenta as Escalas de Serviço para 52 dias, otimizada e alerta a responsável para a

necessidade de contratar mais pessoal ou da existência de pessoal excedente. Também permite a inserção de percentagem de horas suplementares, pois é habitual como já foi referido recorrer entre 20-30% de horas suplementares para este setor, uma vez que geralmente todo o processo de contratação e formação fica mais dispendioso. Seguidamente é explicada como é efetuada a sequenciação para cobrir todo o ano civil, tendo em conta todas as restrições, as preferências dos trabalhadores e os dias programados de férias ou de formação ou de ausências.

5 Apresentação do Gerador de Horários

O Gerador de Horários foi realizado em Microsoft Excel com recurso ao VBA – *Visual Basic for Applications*, ao Solver e ao *OpenSolver*. Em cada uma das seções 5.1. a 5.8, que se seguem é explicado o funcionamento dessa ferramenta de apoio à decisão para a otimização e sequenciação de horários por turnos. Na seção 5.9 são apresentados os resultados das simulações e na última seção, é apresentado um resumo do que foi abordado neste capítulo.

As imagens do Gerador de Horários que não puderam ser apresentadas nesta seção podem ser consultadas no ANEXO B e no CD que acompanha esta dissertação.

5.1 Módulo 1: Estimativa das necessidades mínimas

Neste módulo representado na Ilustração 5-1, o utilizador pode consultar ou introduzir o número mínimo de trabalhadores por cada intervalo de 30 minutos.

Esta informação é importante para a otimização das Escalas de Serviço.

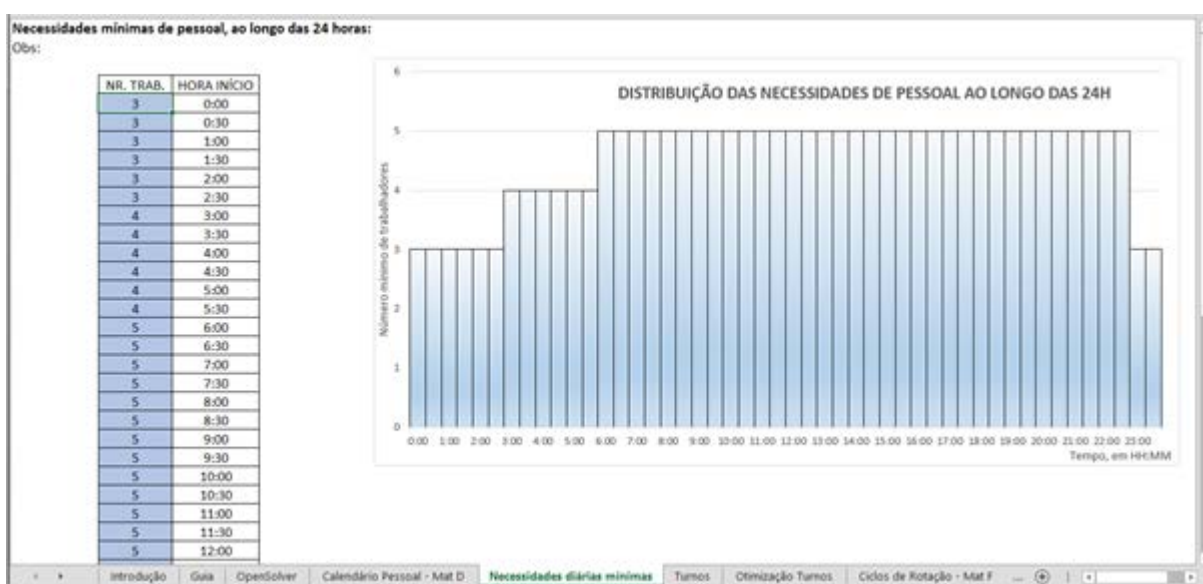
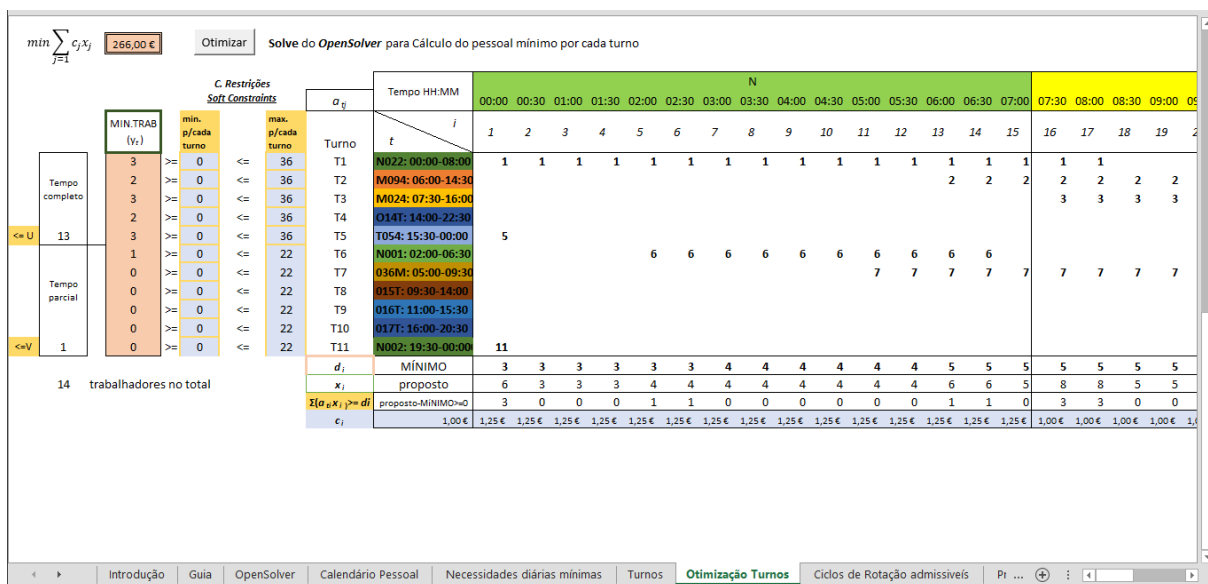
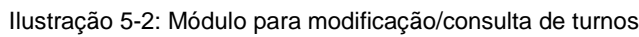


Ilustração 5-1: Módulo para a inserção/modificação das necessidades de pessoal ao longo das 24 horas

5.2 Módulo 2: Gestão dos Turnos

Este módulo está representado na Ilustração 5-2 a seguir. O utilizador pode consultar ou modificar os turnos, caso seja necessário, a nível da duração, da hora início e fim de cada turno.

Essas alterações vão depois refletir-se na geração das Escalas de Serviço para 52 dias.



Os ficheiros “model.lp” e “log.tmp” resultantes do processo de otimização são obtido a partir do menu do *OpenSolver*. Esses ficheiros contém informação acerca do processo de otimização deste caso, que está resumido na Tabela 5-1 a seguir.

Tabela 5-1: Resultado Simulação de Otimização de Turnos

Ficheiro model.lp:	Ficheiro log.tmp:
\ Model solved using the solver 'CBC'	Welcome to the CBC MILP Solver
\ Model for sheet 'Otimização Turnos'	Version: 2.9.0 Build Date: Jan 28 2015
\ It took 0,2189941 seconds to build the model.	Continuous objective value is 266 - 0.01 seconds
\ Model has 6 Excel constraints giving 72 constraint rows and 11 variables..	Cgl0004I processed model has 20 rows, 11 columns (11 integer (0 of which binary)) and 73 elements
	Result - Optimal solution found
	Objective value: 266.00000000
	Enumerated nodes: 0
	Total iterations: 0
	Time (CPU seconds): 0.01
	Time (Wallclock seconds): 0.02
	Total time (CPU seconds): 0.03 (Wallclock seconds): 0.03

5.4 Módulo 4: Ciclos de rotação de referência

Este módulo contém a Tabela dos ciclos de rotação de referência. As linhas representam sequências de turnos e de descansos, ao longo de 52 dias. Os ciclos de rotação podem ser alterados de acordo com as conveniências da responsável ou podem ser consultados usando filtros. Qualquer alteração a esta tabela, reflete-se na geração de Escalas de Serviço para 52 dias.

Matriz F ₂ x 41		DOS CICLOS ADMISSÍVEIS																			
TEMPO COMPLETO 4T1 5T4 4T2 5T3 4T1 5T4 4T2 5T5 (repetem-se cada 52 dias)		Podem ser alterados, se necessário e filtrados para efeitos de consulta																			
		Ciclos s / Dias k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
		CC01	DO	T4	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T2	T2	T2	T2	DC	DO	T3	T3			
		CC02	T1	T1	T1	T1	DC	DO	T4	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T2	T2	T2			
		CC03	T2	T2	T2	DC	DO	T3	T3	T3	T3	T3	DC	DO	T1	T1	T1	T1			
		CC04	T2	T2	DC	DO	T5	T5	T5	T5	T5	DC	DO	T1	T1	T1	T1	DC			
		CC05	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T2	T2	T2	T2	DC	DO	T5	T5			
		CC06	DO	T2	T2	T2	T2	DC	DO	T5	T5	T5	T5	DC	DO	T1	T1	T1			
		CC07	T3	DC	DO	T1	T1	T1	DC	DO	T4	T4	T4	T4	T4	DC	DO	DO			
		CC08	DC	DO	T3	T3	T3	T3	DC	DO	T1	T1	T1	T1	DC	DO	T4	T4			
		CC09	T2	T2	T2	T2	DC	DO	T3	T3	T3	T3	DC	DO	T1	T1	T1	T1			
		CC10	T1	T1	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T2	T2	T2	T2	DC	DC			
		CC11	DO	T5	T5	T5	T5	T5	DC	DO	T1	T1	T1	T1	DC	DO	T4	T4			
		CC12	T5	T5	T5	DC	DO	T1	T1	T1	DC	DO	T4	T4	T4	T4	T4	T4			
		CC13	T4	DC	DO	T2	T2	T2	DC	DO	T3	T3	T3	T3	T3	DC	DO	DO			
		CC14	T4	T4	T4	DC	DO	T2	T2	T2	DC	DO	T3	T3	T3	T3	T3	T3			
		CC15	T1	T1	T1	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T2	T2	T2	T2	T2			
		CC16	T3	T3	T3	T3	T3	DC	DO	T1	T1	T1	T1	DC	DO	T4	T4	T4			
		CC17	T5	DC	DO	T1	T1	T1	DC	DO	T4	T4	T4	T4	T4	DC	DO	DO			
		CC18	T4	T4	DC	DO	T2	T2	T2	DC	DO	DO	T5	T5	T5	T5	T5	DC			
		CC19	T1	T1	T1	T1	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T2	T2	T2	T2			
		CC20	T4	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T2	T2	T2	T2	DC	DO	T3	T3	T3			
		CC21	T3	T3	T3	T3	DC	DO	T1	T1	T1	T1	DC	DO	T4	T4	T4	T4			
		CC22	T3	T3	T3	DC	DO	T1	T1	T1	T1	DC	DO	T4	T4	T4	T4	T4			
		CC23	T3	T3	DC	DO	T1	T1	T1	T1	DC	DO	T4	T4	T4	T4	T4	DC			
		CC24	T2	T2	DC	DO	T3	T3	T3	T3	DC	DO	T1	T1	T1	T1	T1	DC			
		CC25	DC	DO	T1	T1	T1	T1	DC	DO	T4	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T2			
		CC26	DO	T1	T1	T1	T1	DC	DO	T4	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T2	T2			
		CC27	DO	T3	T3	T3	T3	T3	DC	DO	T1	T1	T1	T1	DC	DO	T4	T4			
		CC28	T1	T1	T1	T1	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T2	T2	T2	T2			
◀ ▶ ...		Ciclos de Rotação - Mat F																			
		Calendário Pessoal - Mat D				Preferência Trabalhadores-Mat P				GERADOR DE HORÁRIOS-Mat R				Plano Anual de Escalas - Mat T				... ⊕ :			

Ilustração 5-4: Módulo para consulta/alteração dos ciclos de referência

5.5 Módulo 5: Calendário dos dias programados de férias/formação/ausências

Este calendário permite consultar ou inserir os dias programados de formação (FO) ou os dias de ausências (FA) ou os dias de férias (FE) com os descansos intercalados (DC DO).

A marcação de dias sobrepõem-se às sequências de ciclos na tabela Escalas de Serviço para 52 dias, pelo que é necessário selecionar manualmente os ciclos que se adaptam melhor ao período de férias na Tabela das Preferências, depois de os ter consultado na Tabela dos Ciclos de Referência. A tarefa de seleção do ciclo de rotação mais convenientes torna-se mais fácil se forem marcados no máximo 10 dias úteis de férias de cada vez, intercalados com dois dias de descanso (DC e DO) e está em acordo com o n.º 8 do art.º 241º do CT, “O gozo do período de férias pode ser interpolado, por acordo entre empregador e trabalhador, desde que sejam gozados, no mínimo, 10 dias úteis consecutivos.”.

Ilustração 5-5: Módulo Calendário das Férias/Formação/Ausências

5.6 Módulo 6: Preferências de ciclos de rotação

Nesta tabela, a escolha de um ciclo para um determinado trabalhador é realizado com a atribuição do valor 1. Existe uma soma de controlo para alertar que não se deve atribuir mais do que um ciclo a cada um dos trabalhadores. Esta tabela pode ser usada nas seguintes situações:

- Se houver registo de dias de férias ou de formação ou de ausência, é necessário escolher um ciclo compatível com aqueles dias, para obter um ciclo válido. Por exemplo escolhendo um ciclo cujo primeiro dia de férias coincide com o início de uma sequência de turnos.

Aquando da sequenciação das Escalas de Serviço para 52 dias, também pode ser necessário escolher ciclos que permitem uma sequenciação viável. Isto pode acontecer nas seguintes situações, entre outras:

- Foi escolhido um ciclo que não se repete de 52 em 52 dias,
- Determinado trabalhador gostaria de mudar de sequência de turnos,
- Um ou mais trabalhadores ficaram ausentes e é necessário re-afetar os trabalhadores para compensar a falta de pessoal.

Este módulo pode ser visto na Ilustração 5-6, a seguir.

Ilustração 5-6: Módulo das preferências de ciclos

5.7 Módulo 7: Geração de Horários

Este módulo, apresentado na Ilustração 5-7, é o mais importante porque é a partir dele que são criadas as Escalas de Serviço para 52 dias.

Ilustração 5-7: Módulo para a geração de Escalas de Serviço

As células editáveis têm fundo de cor azul claro e nessas células pode-se restringir a quantidade máxima de trabalhadores a tempo completo e/ou tempo parcial. Pode-se escolher quais os intervalos em que se vai recorrer a horas suplementares e pode-se inserir o valor/hora (Rmhg) por cada trabalhador.

Antes de otimizar, deve-se escolher a data pretendida para a criação dos 52 dias, por dois motivos:

- 40

5.9 Simulações

As simulações foram efetuadas num computador com processador Intel® Core™ i5-3317U CPU(@)1.70GHz e 8,00(GB) de memória RAM. O sistema operativo é o Windows 8.1. de 64 bits.

Nesta seção são apresentadas várias simulações para explicar o modo de funcionamento do Gerador de Horários e para analisar o mesmo em termos de flexibilidade e robustez.

5.9.1 Otimização das Escalas de Serviço para 52 dias

O primeiro passo foi escolher um tempo de processamento de 3600 s e correr a relaxação linear (opção “Solve Relaxation” no *OpenSolver*) para saber se há solução, isto é, se a quantidade de trabalhadores propostos não ultrapassa a capacidade máxima. Se for encontrada uma solução, é necessário aumentar o tempo de processamento preferencialmente para o máximo possível de 24h x 3600s/h=86400 s, e escolher a opção Solve para otimizar, apesar de na maioria dos casos um tempo de 7200 s ser suficiente como foi para este caso.

Caso 1: Otimização para obter a matriz Escalas de Serviço para 52 dias, sem preferências dos trabalhadores, sem dias de férias/formação/ausências e sem o recurso a horas extraordinárias.

Em primeiro lugar vamos verificar se o problema tem solução para o quadro de pessoal atual, limitando o valor de U a 18 trabalhadores e V a 11 trabalhadores. Aplica-se de seguida a relaxação linear.

Tabela 5-2: Resultado da LR para o caso 1

Ficheiro log.tmp (relaxação)	
Welcome to the CBC MILP Solver; Version: 2.9.0; Build Date: Jan 28 2015	
Presolve 1042 (-9170) rows, 3179 (-4419) columns and 719903 (-3066139) elementsSolved with dual simplex	
Result - Linear relaxation infeasible	
Enumerated nodes:	0
Total iterations:	0
Time (CPU seconds):	20.40
Time (Wallclock Seconds):	20.40
Total time (CPU seconds):	20.43 (Wallclock seconds): 20.43

Verifica-se que não há solução com o quadro de pessoal atual.

Pelo que, volta-se a colocar o valor máximo de trabalhadores para ambas as variáveis, isto é, U=36 e V=22. Aplica-se de seguida novamente a relaxação linear.

A relaxação linear encontrou a solução ótima, apresentando o valor de 175,46 na função objetivo. Assim, pode-se otimizar as Escalas de Serviço para 52 dias.

O resultado pode ser visto na Ilustração 5-9.a seguir.

Verifica-se que são necessários no mínimo 20 trabalhadores a tempo completo e 8 trabalhadores a tempo parcial, em vez dos atuais 18 e 11 respetivamente.

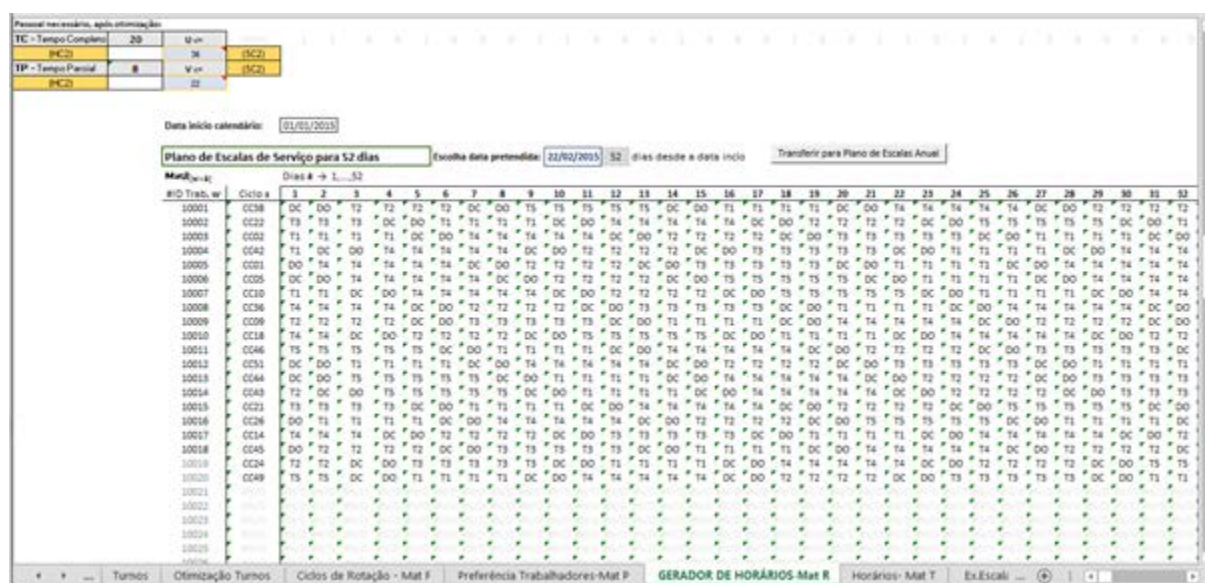


Ilustração 5-9: Escalas de Serviço para o Caso 1 (sem faltas, sem preferências e sem H.S.)

Tabela 5-3: Resultado da simulação do Caso 1

Ficheiro log.tmp (relaxação)	Ficheiro model.lp:	Ficheiro log.tmp:
Welcome to the CBC MILP Solver; Version: 2.9.0; Build Date: Jan 28 2015		
Presolve 1048 (-9164) rows, 3566 (-4032) columns and 800582 (-2800232) elements	\ Model solved using the solver 'CBC'	Continuous objective value is 175.46 - 4.83 seconds
Optimal - objective value 175.46	\ Model for sheet ' GERADOR DE HORÁRIOS-Mat R'	Cgl0002I 3988 variables fixed
After Postsolve, objective 175.46, infeasibilities - dual 0 (0), primal 0 (0)	\ It took 1080 seconds to build the model.	Cgl0004I processed model has 1048 rows, 3566 columns (3566 integer (3566 of which binary)) and 800582 elements
Optimal objective 175.46 - 1518 iterations time 5.502, Presolve 3.70	\ Model has 53 Excel constraints giving 2614 constraint rows and 7598 variables.	Result - Stopped on time limit
Total time (CPU seconds): 20.27 (Wallclock seconds): 20.27		Objective value: 226.00000000
		Lower bound: 175.460
		Gap: 0.29
		Enumerated nodes: 56484
		Total iterations: 4057364
		Time (CPU seconds): 7200.57
		Time (Wallclock seconds): 7200.57
		Total time (CPU seconds): 7214.76 (Wallclock seconds): 7214.76

Esta informação é importante para um possível redimensionamento do atual quadro de pessoal ou o recurso a horas suplementares que fica mais económico. Por exemplo, pode-se limpar a seleção daqueles futuros trabalhadores e analisar os períodos em que temos défice de trabalhadores e atribuir um ciclo de rotação para aqueles 3 trabalhadores em regime parcial para os quais não foi atribuído qualquer ciclo.

Caso 2: Otimização para obter as Escalas de Serviço para 52 dias, com preferências dos trabalhadores, com dias de férias/ formação/ ausências e sem o recurso a horas extraordinárias. Antes de aplicar novamente a relaxação linear, vai-se preencher algumas tabelas com os dados necessários para aplicar esta simulação:

1 – Marcação dos dias de férias e dos dias de descanso intercalados nesse período de férias, marcação dos dias de formação ou dos dias de ausências no Calendário. Conforme Ilustração 5-9, a seguir

Dias do ano:		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
Mês:		Janeiro																																			
Dias da semana:		S	S	D	S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	Q	S	D	S	T	Q	Q	S	
#ID Trab.TC	OBS	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	
10001																																					
10002																																					
10003																																					
10004																																					
10005																																					
10006																																					
10007																																					
10008																																					
10009																																					
10010																																					
10011																																					
10012																																					
10013																																					
10014																																					
10015																																					
10016																																					
10017																																					
10018																																					
10019																																					
10020																																					
10021																																					
10022																																					

Calendário Pessoal - Mat D

Necessidades diárias mínimas

Turnos

Otimização Turnos

Ciclos de Rotação - Mat F

Preferência Trabalhadores-Mat P

<

Ilustração 5-10: Calendário para marcação dos dias de férias/formação/ausências

2 – Escolha dos ciclos que se adequam aos dias de férias (isto é, o início das férias corresponde ao início de uma sequência de turnos, desde que não seja o turno T1 porque o período das 00:30 até às 01:30 só é assegurado por esse turno).

A consulta da Tabela dos Ciclos de Rotação facilita a escolha. Para o trabalhador 10001 atendeu-se à preferência manifestada pelo ciclo ECC01, assim como para o trabalhador 20001 em que foi escolhido o ECP21. Para o trabalhador 10002 foi escolhido o CC02 por causa das férias e para o trabalhador 10003 foi escolhido o CC01 por causa dos dias de formação. Para o trabalhador 20005 foi escolhido o ciclo CP05 por causa da falta comunicada com antecedência e para o trabalhador 20006 foi escolhido o CP01 por causa das férias. Esta parte é apresentada na Ilustração 5-10, a seguir:

Matriz P [w x s]

Remove qualquer preferência dos trabalhadores

Ciclo Especial ou sequência preferida [COLOCAR 1 PARA SELECIONAR]

#Trab	TC / ciclo	[[mat P + mat S]]+1	ECC01	ECC02	ECC03	ECC04	ECC05	ECC06	ECC07	ECC08	ECC09	ECC10	ECC11	ECC12	ECC13	ECC14	CC01	CC02	CC03	CC04	CC05	CC06	CC07	CC08	CC09	CC10	CC11	CC12	CC13
10001	1	1																											
10002	1																												
10003	1																												
10004	0																												
10005	0																												
10006	0																												
10007	0																												
10008	0																												
10009	0																												
10010	0																												
10011	0																												
10012	0																												
10013	0																												
10014	0																												
10015	0																												
10016	0																												
10017	0																												
10018	0																												
10019	0																												
10020	0																												
10021	0																												
10022	0																												
10023	0																												
10024	0																												
10025	0																												

Calendário Pessoal - Mat D Necessidades diárias mínimas Turnos Otimização Turnos Ciclos de Rotação - Mat F **Preferência Trabalhadores Mat P**

Ilustração 5-11: Tabela das Preferências de Ciclos

3 – Verificação no gerador de Escalas de Serviço para 52 dias se os ciclos são adequados (férias começam logo a seguir aos dias de descansos e não colidem com turnos da noite), conforme Ilustração 5-12.

[illegible]

Ilustração 5-12: Gerador de Escalas de Serviço com os ciclos preferenciais do caso 2

Agora aplica-se a relaxação linear, a qual encontrou uma solução atribuindo o valor de 320.71 à função objetivo e não ultrapassou a capacidade máxima dos trabalhadores com contrato a tempo completo e os com contrato a tempo parcial.

Pode-se assim, otimizar.

4 – Otimização das Escalas de Serviço para 52 dias.

A Ilustração 5-13 a seguir apresenta essa tabela:

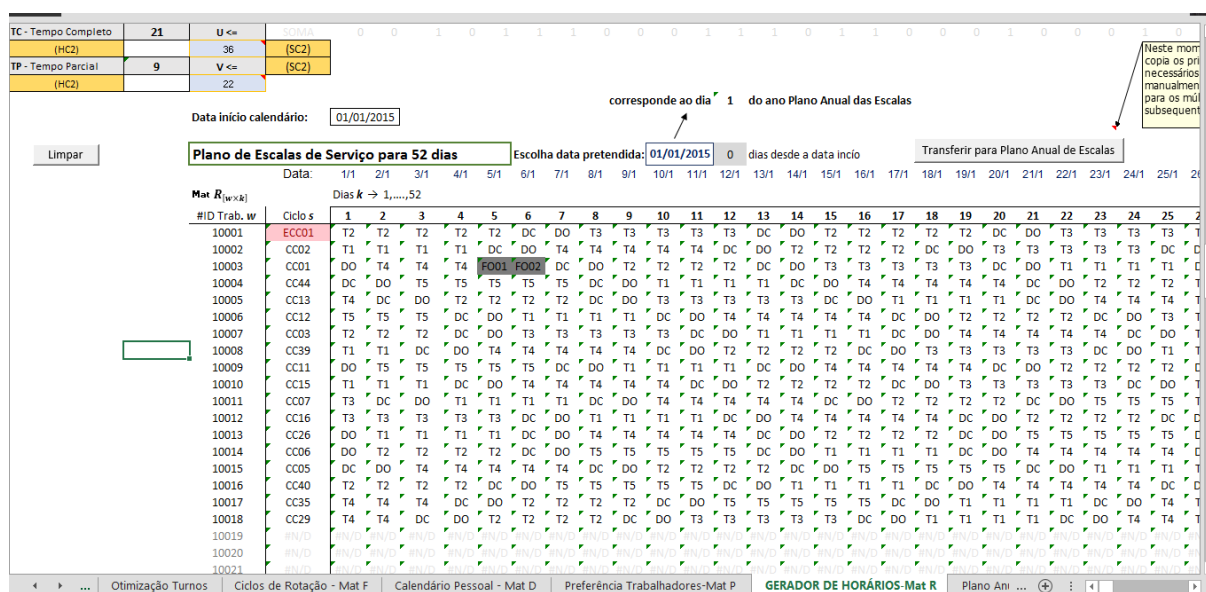


Ilustração 5-13: Escala de Serviço para 52 dias, para o caso 2

Para este caso, são necessários 21 trabalhadores a tempo completo e 9 a tempo parcial. Mais uma vez, é necessário fazer uma análise ao quadro de pessoal atual para tomar a decisão entre contratar mais pessoal ou recorrer a horas suplementares. Os resultados da simulação deste caso podem ser vistos na Tabela 5-4 a seguir. Verifica-se que o tempo de processamento (construção do modelo e procura da solução ótima) para este caso em particular foi de cerca de 13 minutos (780 s).

Tabela 5-4: Resultados da simulação do caso 2

Ficheiro log.tmp (relaxação)	Ficheiro model.lp:	Ficheiro log.tmp:
Welcome to the CBC MILP Solver; Version: 2.9.0; Build Date: Jan 28 2015		
Presolve 1042 (-9170) rows, 3179 (-4419) columns and 719903 (-3055389) elements	\ Model solved using the solver 'CBC'	Continuous objective value is 320.714 - 6.37 seconds
Optimal - objective value 320.71429	\ Model for sheet ' GERADOR DE HORÁRIOS-Mat R'	Cgl0002I 4381 variables fixed
Optimal objective 320.7142857 - 1214 iterations time 5.172, Presolve 3.39	\ It took 662 seconds to build the model.	Cgl0004I processed model has 1035 rows, 3179 columns (3179 integer (3179 of which binary)) and 711892 elements
Total time (CPU seconds): 20.42 (Wallclock seconds): 20.42	\ Model has 53 Excel constraints giving 2614 constraint rows and 7598 variables..	Result - Optimal solution found
		Objective value: 321.00000000
		Enumerated nodes: 0
		Total iterations: 0
		Time (CPU seconds): 44.01
		Time (Wallclock seconds): 44.01
		Total time (CPU seconds): 61.22 (Wallclock seconds): 61.22

5.9.2 Sequenciação das Escalas de Serviço para o Plano Anual das Escalas

Caso 1: Imaginemos que começamos com um determinado mês (para este caso, foi escolhido o mês de janeiro) e que não temos histórico de ciclos de rotação anteriores.

Depois de otimizar as Escalas de Serviço para 52 dias, transfere-se o conteúdo para o Plano Anual de Escalas de Serviço. As próximas sequências de 52 dias são efetuadas após indicação da data pretendida por cada conjunto de 52 dias, isto é, 01/01/2015, 22/02/2015, 08/04/2015, etc..., isto para obter a informação que consta do calendário e também para não sobrepor a informação que já está registada no Plano Anual das Escalas de Serviço.

É preciso ter em atenção os ciclos especiais, porque os mesmos não se repetem de 52 em 52 dias. É preciso verificar qual será o ciclo que corresponde a mais uma sequência de 52 dias. Por Exemplo, para este caso, os ciclos que se seguem ao ciclo ECC01, será o ECC11 ou CC23 se esse trabalhador deixar de ter esse ciclo preferencial. Para o caso do ECP21 será o ciclo ECP03 ou se esse trabalhador também deixar de ter preferência de ciclo, o ciclo CP15. Para o caso do CP54, o ciclo seguinte será o CP50. Para o caso do ciclo CP78, o ciclo seguinte poderá ser o CP02, CP69 e vários outros, conforme Ilustração 5-14 a seguir.

Depois de verificar essa informação, deve-se limpar a seleção desses trabalhadores no Espaço das Variáveis de Decisão e assinalar o ciclo conveniente para esses trabalhadores na Tabela das preferências.

	10015	CC05	DC	DO	T4	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T2	T2	T2	T2	DC	DO	T5	T5	T5	T5	DC	DO	T3	T3	T3	T3	DC	DO	T5	T5	T5	T5	DC	DO	T1	T1	T1	T1	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4	DC	DO	T4	T4	T4	T4
--	-------	------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Ilustração 5-15: Análise dos períodos com déficit de trabalhadores após sequenciação

Caso 2: Imaginemos agora que começamos com um determinado mês e que temos histórico de ciclos de rotação anteriores.

Temos que verificar qual a sequência válida para cada um desses trabalhadores e assinalar a opção na Tabela das Preferências. As próximas sequências podem ser replicadas, exceto para os ciclos especiais em que é preciso analisar com mais atenção como é explicado no caso acima.

Caso 3: Imaginemos que precisamos fazer alterações em determinada data no Plano Anual das Escalas porque houve alterações no calendário ou nas preferências de ciclos de rotação.

1 Manualmente:

Limpar a seleção do(s) trabalhador(es) em que se quer efetuar alterações, na tabela das preferências e/ou no Espaço das Variáveis de Decisão.

Selecionar manualmente os ciclos que cumprem as restrições, na tabela das preferências e/ou na tabela das Variáveis de Decisão para aqueles trabalhadores até verificar que todas as restrições são cumpridas.

2 Automaticamente:

Voltar a otimizar para obter as Escalas de Serviço para 52 dias e voltar a copiar para o Plano Anual das Escalas.

5.10 Considerações finais

Neste capítulo apresentaram-se os diversos módulos que compõem o Gerador de Horários e o modo de funcionamento do mesmo.

Verificou-se que o tempo de computação varia muito, desde 780 s a 7200 s ou mais, conforme foi ou não inseridos ciclos preferenciais.

Conclui-se que este Gerador de Horários cumpre com a totalidade dos objetivos, exceto a nível da usabilidade que precisa de ser significativamente melhorada.

6 Conclusões e perspectivas de trabalhos futuros

6.1 Conclusões

Com esta dissertação, fez-se o estudo de algoritmos exatos e aproximados e metodologias para a otimização e sequenciação de horários por turnos.

Em paralelo, desenvolveu-se um gerador de horários por turnos em Microsoft Excel com recurso ao VBA – *Visual Basic for Applications* e ao suplemento gratuito *OpenSolver*.

Verificou-se que se trata de um problema de difícil resolução, classificado na literatura como um problema do tipo NP-difícil, porque o tempo computacional de resolução é não polinomial.

Para otimizar horários por turnos, é preciso atender a várias restrições que variam de empresa para empresa, não havendo no mercado ou na literatura soluções que se adaptem na perfeição às necessidades de qualquer empresa, tendo sido necessário desenhar uma solução que se adequasse às necessidades da equipa em análise.

A escolha de algoritmos para a otimização depende da quantidade de variáveis, pois problemas de grande dimensão geralmente requerem métodos heurísticos ou meta-heurísticos para encontrar uma solução satisfatória.

Problemas de menor dimensão podem ser resolvidos recorrendo a métodos exatos. No caso em estudo, uma vez que a quantidade de trabalhadores não é elevada (inferior a 100) e a quantidade de restrições também não é demasiada elevada (cerca de 50 restrições por cada trabalhador), sendo o Planeamento das Escalas de Serviço feito com meses de antecedência, optou-se por algoritmos baseados em programação linear inteira.

Para reduzir a complexidade, abordou-se o problema com a criação de padrões (sequências de turnos e descansos), isto é, criaram-se 166 ciclos de rotação admissíveis.

Antes de se proceder à otimização, verificou-se que é conveniente fazer uma análise de viabilidade recorrendo à relaxação linear para termos a certeza que existe uma solução.

O resultado final deste estudo e do desenvolvimento da ferramenta de apoio à decisão para a otimização e sequenciação de horários por turnos foi satisfatório, porque conseguiu-se cumprir com a totalidade dos objetivos, exceto a nível da flexibilidade e usabilidade da ferramenta, onde ainda há muito que fazer.

6.2 Perspetivas de trabalhos futuros

O tempo previsto para o desenvolvimento desta dissertação não foi suficiente para implementar algumas das melhorias conjecturadas, pelo que são apresentadas propostas de desenvolvimento para trabalhos futuros:

- Abordar o problema de forma diferente, uma vez que os trabalhadores com contrato a tempo parcial servem para preencher as necessidades mínimas de pessoal que os trabalhadores com contrato a tempo completo não conseguiram satisfazer. Uma possível abordagem seria procurar algoritmos que constroem as sequências turno a turno incluindo os dias de descanso, tais como a programação de fluxos de rede (*network flow programming*) que é abordada conforme já foi mencionado no Capítulo 2, com grande detalhe em ([Ford and Fulkerson 1962](#)). Também em ([Burke and Kendall 2005](#)) esse assunto é abordado e explicado sucintamente mas suficientemente para permitir rapidamente pô-lo em prática.
- Otimizar a afetação dos trabalhadores aos intervalos para refeição, seguindo por exemplo a metodologia apresentada em ([Bechtold and Jacobs 1990](#)).
- Criar relatórios com dados estatísticos e melhorar a usabilidade do Gerador de Horários recorrendo por exemplo à engenharia dos serviços para elaborar o documento técnico com as especificações dos requisitos desta ferramenta.
- Com a ajuda de VBA – *Visual Basic for Applications*, encontrar formas de diminuir o Espaço das Variáveis de Decisão, selecionando somente determinados ciclos e um número menor de trabalhadores, e assim diminuir o tempo de processamento para encontrar uma solução.

Referências

- Aickelin, Uwe, Edmund K. Burke, and Jingpeng Li. 2009. "An evolutionary squeaky wheel optimization approach to personnel scheduling." *Trans. Evol. Comp* 13 (2):433-443. doi: 10.1109/tevc.2008.2004262.
- Ammar, M. H., M. Benaissa, and H. Chabchoub. 2013. "GRASP for seafaring staff scheduling: Real case." Advanced Logistics and Transport (ICALT), 2013 International Conference on, 29-31 May 2013.
- AMT. 2015. "AMT Consulting - A Matter of Trust." Accessed 22/02/2015. http://www.amt-consulting.pt/page/166/amt_labs.
- Bai, Ruibin, Edmund K. Burke, Graham Kendall, Jingpeng Li, and Barry McCollum. 2010. "A hybrid evolutionary approach to the nurse Rostering problem." *IEEE TRANSACTIONS ON EVOLUTIONARY COMPUTATION* 14 (4):580-590. doi: 10.1109/tevc.2009.2033583.
- Bai, Ruibin, Jacek Blazewicz, Edmund K Burke, Graham Kendall, and Barry McCollum. 2012. "A simulated annealing hyper-heuristic methodology for flexible decision support." *4OR: A Quarterly Journal of Operations Research* 10 (1):43-66.
- Bäumelt, Zdeněk, Přemysl Šůcha, and Zdeněk Hanzálek. 2014. "A multistage approach for an employee timetabling problem with a high diversity of shifts as a solution for a strongly varying workforce demand." *Computers & Operations Research* 49 (0):117-129. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2014.03.019>.
- Beasley, J. E., and B. Cao. 1998. "A dynamic programming based algorithm for the crew scheduling problem." *Computers & Operations Research* 25 (7-8):567-582. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0305-0548\(98\)00019-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0305-0548(98)00019-7).
- Bechtold, Stephen E., and Larry W. Jacobs. 1990. "IMPLICIT MODELING OF FLEXIBLE BREAK ASSIGNMENTS IN OPTIMAL SHIFT SCHEDULING." *Management Science* 36 (11):1339-1351.
- Bhulai, Sandjai, Ger Koole, and Auke Pot. 2008. "Simple Methods for Shift Scheduling in Multiskill Call Centers." *Manufacturing & Service Operations Management* 10 (3):411-420. doi: 10.1287/msom.1070.0172.
- Bojovic, N., and M. Milenkovic. 2010. "Train driver rostering optimization." Intelligent Systems and Informatics (SISY), 2010 8th International Symposium on, Subotica, 10-11 Sept. 2010.
- Bonabeau, Eric, Marco Dorigo, and Guy Theraulaz. 1999. *Swarm intelligence: from natural to artificial systems*: Oxford university press.
- Brownlee, Jason. 2011. *Clever Algorithms: Nature-inspired Programming Recipes*. First Edition ed: LULU.
- Brucker, Peter, and Rong Qu. 2014. "Network flow models for intraday personnel scheduling problems." *Annals of Operations Research* 218 (1):107-114. doi: 10.1007/s10479-012-1234-y.
- Brucker, Peter, Rong Qu, and Edmund Burke. 2011. "Personnel scheduling: Models and complexity." *European Journal of Operational Research* 210 (3):467-473. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2010.11.017>.
- Burke, Edmund K, and Graham Kendall. 2005. *Search methodologies*: Springer.
- Caprara, Alberto, Michele Monaci, and Paolo Toth. 2003. "Models and algorithms for a staff scheduling problem." *Mathematical Programming* 98 (1-3):445-476. doi: 10.1007/s10107-003-0413-7.
- Cho, Vincent, Gene Pak Kit Wu, and WH Ip. 2009. "An Aircraft Service Staff Rostering using a Hybrid GRASP Algorithm." *International Journal of Engineering* 1 (2):13-18.
- Dai, Tao, and Junxiang Li. 2012. "A simple method on staff scheduling in multi-skill call center." Service Systems and Service Management (ICSSSM), 2012 9th International Conference on, 2-4 July 2012.

- Dantzig, George B. 1954. "Letter to the Editor—A Comment on Edie's "Traffic Delays at Toll Booths"." *Journal of the Operations Research Society of America* 2 (3):339-341. doi: 10.1287/opre.2.3.339.
- De Causmaecker, Patrick, Peter Demeester, G Vanden Berghe, and Bart Verbeke. 2004. "Analysis of real-world personnel scheduling problems." *Proceedings of the 5th international conference on practice and theory of automated timetabling, Pittsburgh*:183-197.
- Dowling, D., M. Krishnamoorthy, H. Mackenzie, and D. Sier. 1997. "Staff rostering at a large international airport." *Annals of Operations Research* 72 (0):125-147. doi: 10.1023/A:1018992120116.
- Dréo, Johann, Alain Pétrowski, Patrick Siarry, and Éric D Taillard. 2006. *Metaheuristics for Hard Optimization*. Edited by Springer. Germany. Original edition, in French by Eyrolles, Paris (2003) under the title:
- "Metaheuristiques pour l'optimisation difficile".
- Edie, Leslie C. . 1954. "Traffic Delays at Toll Booths." *Journal of the Operations Research Society of America* 2 (2):107-138. doi: doi:10.1287/opre.2.2.107.
- Ernst, A. T., H. Jiang, M. Krishnamoorthy, and D. Sier. 2004. "Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models." *European Journal of Operational Research* 153 (1):3-27. doi: 10.1109/CEC.2009.4983159.
- Ezzinbi, O., M. Sarhani, A. El Afia, and Y. Benadada. 2014. "Particle swarm optimization algorithm for solving airline crew scheduling problem." *Logistics and Operations Management (GOL)*, 2014 International Conference on, 5-7 June 2014.
- Ferreira, José António de Vasconcelos. 2012. "Sistema de apoio à decisão para escalamento de tripulantes no transporte colectivo urbano." Acedido a 16/02/2015.
- <http://hdl.handle.net/10216/59068>.
- Ford, D. R. Jr., and D. R. Fulkerson. 1962. *Flows in Networks*: Princeton University Press.
- Heidrick&Struggles. 2013. "Prémios Excelência no Trabalho 2012." Accessed 25/02/2015. http://economico.sapo.pt/public/uploads/especiais_sp/excelencia.pdf.
- Herbers, Jörg 2005. "Models and Algorithms for Ground Staff Scheduling on Airports." PhD Monografie, Faculty of mathematics, computer science and the natural sciences, Aachen University.
- Jacobs, Larry W., and Michael J. Brusco. 1995. "Note: A local-search heuristic for large set-covering problems." *Naval Research Logistics (NRL)* 42 (7):1129-1140. doi: 10.1002/1520-6750(199510)42:7<1129::AID-NAV3220420711>3.0.CO;2-M.
- Joslin, David E., and David P. Clements. 1999. "'Squeaky Wheel' optimization." *Journal of Artificial Intelligence Research* 10 (1):353-373. doi: 10.1613/jair.561.
- Kirkpatrick, S., C. D. Gelatt, and M. P. Vecchi. 1983. "Optimization by Simulated Annealing." *Science* 220 (4598):671-680. doi: 10.1126/science.220.4598.671.
- Krishnamoorthy, M., A. T. Ernst, and D. Baatar. 2012. "Algorithms for large scale Shift Minimisation Personnel Task Scheduling Problems." *European Journal of Operational Research* 219 (1):34-48. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2011.11.034>.
- Kyngäs, Jari. 2011. "Solving Challenging Real-World Scheduling Problems." Doctoral thesis Department of Information Technology, TUCS - University of Turku (140).
- Kyngäs, Nico, Jari Kyngäs, and Kimmo Nurmi. 2012. "Optimizing Large-Scale Staff Rostering Instances." *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2012 IMECS 2012*, Hong Kong, 14-16 March, 2012.
- Lin, Shih-Wei, and Kuo-Ching Ying. 2014. "Minimizing shifts for personnel task scheduling problems: A three-phase algorithm." *European Journal of Operational Research* 237 (1):323-334. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2014.01.035>.

- Lo, C. C., C. C. Lin, C. T. Wang, T. J. Dai, and D. Wong. 2007. "Artificial immune systems for intelligent nurse rostering." *Industrial Engineering and Engineering Management*, 2007 IEEE International Conference on, 2-4 Dec. 2007.
- Mason, Andrew J 2013. "SolverStudio: A New Tool for Better Optimisation and Simulation Modelling in Excel." *INFORMS Transactions on Education* 14 (1):45-52. doi: doi:10.1287/ited.2013.0112.
- Mason, Andrew J. 2012. "OpenSolver - An Open Source Add-in to Solve Linear and Integer Programmes in Excel." In *Operations Research Proceedings 2011*, edited by Diethard Klatte, Hans-Jakob Lüthi and Karl Schmedders, 401-406. Springer Berlin Heidelberg.
- Ohara, M., and H. Tamaki. 2014. "Integer programming approach based on pattern for a class of staff scheduling problems." *Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS), 2014 Joint 7th International Conference on and Advanced Intelligent Systems (ISIS), 15th International Symposium on*, 3-6 Dec. 2014.
- Ohara, Makoto, and Hisashi Tamaki. 2012. "Integer programming approach for a class of staff scheduling problems -Schedule optimization and parameter estimation." *Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS) and 13th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS), 2012 Joint 6th International Conference on*, 20-24 Nov. 2012.
- Ponte, João Pedro da. 2006. "Estudos de caso em educação matemática." *Bolema* 19 (25):105-132.
- Pot, Auke, Sandjai Bhulai, and Ger Koole. 2008. "A Simple Staffing Method for Multiskill Call Centers." *Manufacturing & Service Operations Management* 10 (3):421-428. doi: 10.1287/msom.1070.0173.
- Rocha, Marta Soares Ferreira da Silva. 2013. "The staff scheduling problem: a general model and applications." *Doctoral thesis, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto*.
- Runarsson, Thomas Philip, and Yao Xin. 2000. "Stochastic ranking for constrained evolutionary optimization." *Evolutionary Computation, IEEE Transactions on* 4 (3):284-294. doi: 10.1109/4235.873238.
- Sharif, Ebtisam, Masri Ayob, and Mohammed Hadwan. 2011. "Hybridization of heuristic approach with variable neighborhood descent search to solve nurse Rostering problem at Universiti Kebangsaan Malaysia Medical Centre (UKMMC)." *Data Mining and Optimization (DMO), 2011 3rd Conference on*, Putrajaya, 28-29 June 2011.
- Shibghatullah, Abdul S., Tillal Eldabi, and George Rzevski. 2006. "A framework for crew scheduling management system using multiagents system." *Information Technology Interfaces, 2006. 28th International Conference on* June 19-22.
- Thompson, Gary M. 1999. "Labor scheduling, part 3: Developing a workforce schedule." *The Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly* 40 (1):86-96. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0010-8804\(99\)80019-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0010-8804(99)80019-6).
- Thompson, Gary M. 2003. "Labor scheduling: A commentary." *The Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly* 44 (5-6):149-155. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0010-8804\(03\)90119-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0010-8804(03)90119-4).
- Todorovic, Nikola, and Sanja Petrovic. 2013. "Bee Colony Optimization Algorithm for Nurse Rostering." *Systems, Man, and Cybernetics: Systems, IEEE Transactions on* 43 (2):467-473. doi: 10.1109/TSMCA.2012.2210404.
- Totterdell, Peter. 2005. "Work Schedules." In *Handbook of Work Stress*, edited by Julian Barling, E. Kevin Kelloway and Michael R. Frone, 35-63. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, Inc. doi: <http://dx.doi.org/10.4135/9781412975995>.
- Van Den Bergh, Jorne , Philippe De Bruecker, Jeroen Beli, Liesje De Boeck, and Erik Demeulemeester. 2013b. "A three-stage approach for aircraft line maintenance personnel rostering using MIP, discrete event simulation and DEA." *Expert Syst. Appl.* 40 (7):2659-2668. doi: 10.1016/j.eswa.2012.11.009.

Van den Bergh, Jorne, Jeroen Beliën, Philippe De Bruecker, Erik Demeulemeester, and Liesje De Boeck. 2013a. "Personnel scheduling: A literature review." *European Journal of Operational Research* 226 (3):367-385. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2012.11.029>.

ANEXO A: Inquéritos

Inquérito sobre a gestão de horários de trabalho

Nome da empresa:

Nome, contacto e funções da pessoa responsável pelo preenchimento deste inquérito:

Qual é o departamento para o qual pretendem o estudo da gestão e otimização de horários?

1 – Qual é o horário de laboração do departamento?

2 – Qual o número total de pessoas a trabalhar no departamento?

3 – Quantos horários diferenciados têm por dia?

4 – Quais são as horas de início e fim de cada um desses horários?

5 – Quais são os principais serviços efetuados em cada turno?

6 – Qual o número mínimo de pessoas necessárias, por cada turno?

7 – Qual o número mínimo de pessoas para liderar cada turno?

8 – Qual o número mínimo de pessoas com conhecimentos específicos (falar inglês, por exemplo) necessárias por cada turno?

9 – Quantos intervalos de descanso existem por cada turno?

10 – Qual é a duração de cada um desses intervalos?

11 – Para efeitos de análise de distribuição de trabalhadores necessários para o bom funcionamento dos serviços, durante o período laboral e fora da época de férias ou outra situação extraordinária, indicar o número mínimo de pessoas para o intervalo de horas abaixo indicado, para dias úteis, sábados, domingos e feriados.

Dia útil		Sábado		Domingo/ Feriado	
Qtd. Trab.	Horas	Qtd. Trab.	Horas	Qtd. Trab.	Horas
	00:00-01:00		00:00-01:00		00:00-01:00
	01:00-02:00		01:00-02:00		01:00-02:00
	02:00-03:00		02:00-03:00		02:00-03:00
	03:00-04:00		03:00-04:00		03:00-04:00
	04:00-05:00		04:00-05:00		04:00-05:00
	05:00-06:00		05:00-06:00		05:00-06:00
	06:00-07:00		06:00-07:00		06:00-07:00
	07:00-08:00		07:00-08:00		07:00-08:00
	08:00-09:00		08:00-09:00		08:00-09:00
	09:00-10:00		09:00-10:00		09:00-10:00
	10:00-11:00		10:00-11:00		10:00-11:00
	11:00-12:00		11:00-12:00		11:00-12:00
	12:00-13:00		12:00-13:00		12:00-13:00
	13:00-14:00		13:00-14:00		13:00-14:00
	14:00-15:00		14:00-15:00		14:00-15:00
	15:00-16:00		15:00-16:00		15:00-16:00
	16:00-17:00		16:00-17:00		16:00-17:00
	17:00-18:00		17:00-18:00		17:00-18:00
	18:00-19:00		18:00-19:00		18:00-19:00
	19:00-20:00		19:00-20:00		19:00-20:00
	20:00-21:00		20:00-21:00		20:00-21:00
	21:00-22:00		21:00-22:00		21:00-22:00
	22:00-23:00		22:00-23:00		22:00-23:00
	23:00-24:00		23:00-24:00		23:00-24:00

12 - Quais são os meses e o(s) motivo(s) para os quais é necessário aumentar ou reduzir o número de trabalhadores e em que percentagens?

13 - Quais são os problemas com que se deparam na elaboração dos horários?

14 - Habitualmente, quais e onde estão as lacunas entre o horário aplicado e o horário desejado?

15 – Utilizam atualmente algum programa/aplicação para a gestão e otimização de horários? Se sim, qual?

16 - Quais são o(s) objetivo(s) que gostariam de alcançar com uma aplicação de geração e otimização de horários?

17 – Para efeitos de análise das restrições na elaboração dos horários, indicar os dados parciais, dos trabalhadores ou parte deles, referente ao ano de 2014 e que continuam com vínculo em 2015

(neste caso, para efeitos de estudo inserir somente os dados respeitantes a 1 ou 2 meses)

Nº.	Valor/hora p/período normal	Lidera?	Detém um conhecimento específico necessário ao grupo de trabalho? (por exemplo fala inglês)	Restrições Fijas ¹⁰	Data início/ Data Fim	Restrições Pontuais ¹¹	Data início/ Data fim
1							

Para finalizar, é possível fornecer-nos uma cópia dos horários que foram aplicados durante o ano de 2014, sem indicação do nome ou ID dos trabalhadores? E seria possível indicar-nos quais os contratos coletivos e/ou acordos de empresa que regem os contratos de trabalho das pessoas envolvidas?

Observações:

¹⁰ Restrições fixas: Por exemplo, o trabalhador não trabalha em regime noturno ou trabalha em regime parcial.

¹¹ Restrições pontuais: Por exemplo, o trabalhador está de baixa médica ou de férias.

Questões sobre a gestão de horários de trabalho

1 – Gostaria de saber se se confirmam os valores mínimos de necessidades de pessoal ao longo das 24 horas e o total de 18 pessoas a full-time? Porque, se assim for, é preciso recorrer a horas extraordinárias com alguma frequência. Seria possível saber, nas presentes condições, qual o nível de horas extraordinárias e respetivas razões?

2 – O ciclo de rotação para todos os trabalhadores a Full-time é o seguinte?

4x(N022), 2xD, 5x(014T), 2xD, 4x(M094), 2xD ,5x(M024), 2xD, 4x(N022), 2xD, 5x(014T), 2xD, 4x(M094), 2xD ,5x(T054), 2xD

3 – Os trabalhadores em part-time servem apenas para completar as necessidades do pessoal a full-time?

4 - Não parece existir nenhum ciclo de rotação para os trabalhadores em part-time. Estou correta?

5 – Não estão a utilizar todos os turnos de part-time, é porque durante o ano de 2014 não foi necessário?

6 – Há pelo menos um trabalhador em full-time que não segue o ciclo habitual de rotação, gostaria de saber o motivo?

P.S.: Surgiram estas dúvidas porque, uma vez que para o turno 1 (N022) deverá haver no mínimo 3 trabalhadores, não consigo otimizar o horário tendo em conta somente 18 trabalhadores em full-time com o seguinte ciclo de rotação:

4x(N022), 2xD, 5x(014T), 2xD, 4x(M094), 2xD ,5x(M024), 2xD, 4x(N022), 2xD, 5x(014T), 2xD, 4x(M094), 2xD ,5x(T054), 2xD (ciclo correto?)

Este ciclo estende-se por 52 dias.

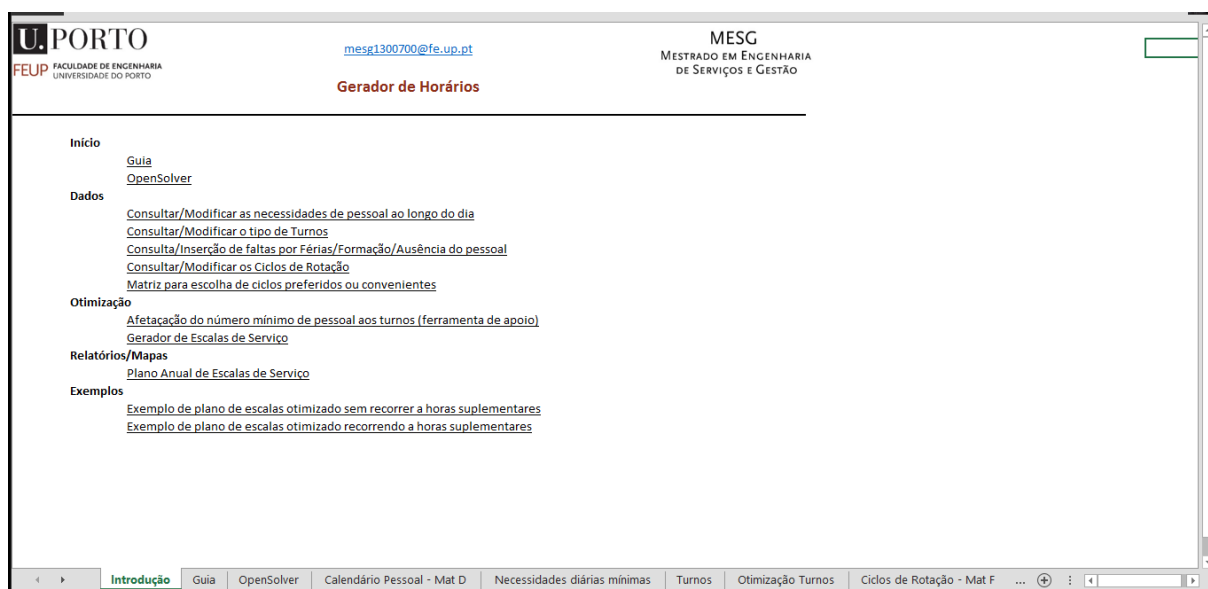
O 2xD representa os dias de descanso.

Então, para satisfazer esta primeira restrição, preciso de

- Mais trabalhadores a full-time em vez dos 18 ou então
- Outro valor para o mínimo de trabalhadores durante aqueles intervalos de tempo, ou
- Alterar aos turnos para que haja mais sobreposições com o turno da noite (N022) ou
- Recorrer a horas extraordinárias

Obrigada

ANEXO B: Imagens do Gerador de Horários



Guia para a utilização do Gerador de Horários, nas folhas protegidas

1 - As folhas estão protegidas, mas sem palavra passe.

2 - Para se movimentar entre células editáveis, use a tecla de tabulação (Tab)



3 - As células editáveis têm fundo azul



por exemplo: a quantidade de trabalhadores

4 - Os modelos matemáticos apresentados têm:

4.1. Variáveis de decisão (o que se procura determinar)



por exemplo: matriz B (trabalhadores x ciclos) $\rightarrow b_{ia}=1$ quando o solucionador atribui 1 ciclo a 1 trabalhador

4.2. Função objetivo (o que se precisa otimizar)



por exemplo: resultado da fórmula custo da RmHg de cada trabalhador x , 1, se for atribuído 1 ciclo ao trabalhador

4.3. Restrições (o que a solução deve satisfazer)



por exemplo: a condição que só pode ser atribuído um ciclo por cada trabalhador

5 - Os dados de entrada têm moldura



por exemplo: as necessidades mínimas de pessoal e os ciclos admissíveis

6 - Os dados de saída têm moldura



por exemplo: Plano de Escalas de Serviço para 52 dias

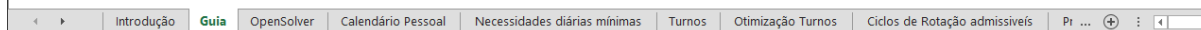


Ilustração B- 2: Guia para utilização dos módulos de otimização

Ferramenta de apoio à decisão para a otimização e sequenciação de horários por turno

Caso de Estudo

<http://opensolver.org/>

Solucionador gratuito e sem limite para a quantidade de variáveis de decisão

- 1- Acesse o link acima.
- 2- Instale o OpenSolver for Excel no seu computador.
- 3- Para utilizar este solucionador, deverá previamente definir todos os parâmetros no Solver que já está incorporado no Excel ou neste solucionador.
- 4- Depois basta correr o OpenSolver

N.B.:
- Escolher tolerância 5% e tempo de processamento 3600 s (1 hora) para uma solução aceitável ou mais (>14400 s) para tentar arranjar a **solução ótima**
Não interromper durante o processamento
- Se por algum motivo durante o processamento do solucionador, obter um erro "ErrNum=70", é necessário sair do Excel e reiniciar o computador

OpenSolver - Solve Options

- ☒ Make unconstrained variable cells non-negative
- ☒ Perform a quick linearity check on the solution
- ☒ Show optimisation progress while solving

Maximum Solution Time (seconds): 14400

Branch and Bound Tolerance (%): 5

Maximum Number of Iterations: 2147483647

Precision: 0.000005

OK Cancel

Note: Only options that are used by the currently selected solver can be changed

Introdução Guia **OpenSolver** Calendário Pessoal Necessidades diárias mínimas Turnos Otimização Turnos Ciclos de Rotação admissíveis P ...

Ilustração B- 3: Breve explicação para instalação do OpenSolver